Создание алгоритмического базиса самовосстанавливающихся вычислений

Е. Г. Воробьев [1], Jon A.Olaode[2], Т. В. Альшанская[3]
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)
[1]vrbyug@mail.ru, [2]oia.john34@yahoo.com, [3]ashanskay@mail.ru

Аннотация. **Рассмотрен алгоритмический базис принципиально нового класса самовосстанавливающихся машинных вычислений в условиях деструктивных воздействий на вычислительную среду современных компьютеров пятого поколения.**

Ключевые слова: машинные вычисления; «архитектура фон Неймана»; деструктивные воздействия на машинные вычисления; возмущения вычислений; самовосстанавливающиеся вычисления

I. Введение

Раскроем характерные особенности единичных, групповых и массовых возмущений вычислений [1–10] с помощью следующих определений.

A. *Определение 1*

Динамическая система самовосстанавливающихся вычислений в условиях деструктивных возмущений вычислительной среды Σ называется *стационарной* (*постоянной*) тогда и только тогда, когда:

- (a) T есть аддитивная группа (относительно обычной операции сложения вещественных чисел);
- (b) Ω замкнуто относительно *оператора сдвига* z^{τ}: $\omega \to \omega'$, определяемого соотношением: $\omega'(t)=\omega(t+\tau)$ при всех τ, $t \in T$;
- (c) $\varphi(t; \tau, x, \omega)= \varphi(t+s; \tau+s, x, z^{s}\omega)$ при всех $s \in T$;
- (d) отображение $\eta(t, \cdot)$: $X \to Y$ не зависит от t^1.

B. *Определение 2*

Динамическая система самовосстанавливающихся вычислений в условиях деструктивных возмущений вычислительной среды Σ называется системой с *непрерывным временем* тогда и только тогда, когда T совпадает с множеством вещественных чисел, и называется системой с *дискретным временем* тогда и только тогда, когда T есть множество целых чисел.

Здесь различие между системами с непрерывным и дискретным временем несущественно и выбор между ними диктуется в основном соображениями математического удобства разработки соответствующих моделей вычислений. Системы самовосстанавливающихся вычислений в условиях деструктивных возмущений вычислительной среды с непрерывным временем соответствуют классическим непрерывным моделям вычислений, а названные системы с дискретным временем соответствуют дискретным моделям вычислительных процессов.

Важной мерой сложности системы вычислений в условиях информационного противоборства является структура её пространства состояния.

C. *Определение 3*

Динамическая система вычислений в условиях деструктивных возмущений вычислительной среды Σ называется *конечномерной* тогда и только тогда, когда X является конечномерным линейным пространством. При этом $\dim \Sigma = \dim X_{\Sigma}$. Система Σ называется *конечной* тогда и только тогда, когда множество X конечно. Наконец, система Σ называется *конечным автоматом* тогда и только тогда, когда все множества X, U и Y конечны и, кроме того, система стационарна и с дискретным временем.

Предположение о конечномерности названной системы существенно с точки зрения получения конкретных численных результатов.

D. *Определение 4*

Динамическая система вычислений в условиях деструктивных возмущений вычислительной среды Σ называется *линейной* тогда и только тогда, когда:

- (a) пространства X, U, Ω, Y и Γ суть векторные пространства (над заданным произвольным полем K);
- (b) отображение $\varphi(t; \tau,\cdot,\cdot)$: $X \times \Omega \to X$ является K-линейным при всех t и τ;
- (c) отображение $\eta(t,)$: $X \to Y$ является K-линейным при любых t.

В случае необходимости использования математического аппарата дифференциального и интегрального исчислений необходимо, чтобы в определение системы Σ были включены некоторые допущения о непрерывности. Для этого необходимо предположить, что различные множества (T, X, U, Ω, Y, Γ) являются топологическими пространствами и что отображения φ и η непрерывны относительно соответствующей (Тихоновской) топологии.

E. *Определение 5*

Динамическая система вычислений в условиях деструктивных возмущений вычислительной среды Σ называется *гладкой* тогда и только тогда, когда:

- (a) $T=R$ есть множество вещественных чисел (с обычной топологией);
- (b) X и Ω суть топологические пространства;
- (c) переходное отображение φ обладает тем свойством, что $(\tau, x, \omega) \mapsto \varphi(\cdot; \tau, x, \omega)$ определяет непрерывное отображение $T \times X \times \Omega \mapsto C^1(T \to X)^2$.

Для любого заданного начального состояния (τ, x) и отрезка входного воздействия $\omega_{(\tau, t_1]}$ системы Σ задаётся реакция системы $\gamma_{(\tau, t_1]}$, т.е. задаётся отображение: $f_{\tau, x}$: $\omega_{(\tau, t_1]} \to \gamma_{(\tau, t_1]}$.

Здесь значение выходной величины в момент времени $t \in (\tau, t_1]$ определяется из соотношения: $f_{\tau, x}(\omega_{(\tau, t_1]})(t) = \eta(t, \varphi(t; \tau, x, \omega))$.

F. *Определение 6*

Динамической системой вычислений в условиях деструктивных возмущений вычислительной среды Σ (с точки зрения её внешнего поведения) называется следующее математическое понятие:

- (a) заданы множества T, U, Ω, Y и Γ, удовлетворяющие рассмотренным выше свойствам.
- (b) задано множество A, индексирующее семейство функций: $F=\{f_\alpha: T \times \Omega \to Y,\ \alpha \in A\}$, где каждый элемент семейства F записывается в явном виде как $f_\alpha(t, \omega)=y(t)$, т.е. является выходной величиной для входного воздействия ω, полученной в *эксперименте* α. Каждое f_α называется *отображением вход – выход* и обладает следующими свойствами:

1. (Направление времени.) Существует такое отображение ι: $A \to T$, что $f_\alpha(t, \omega)$ определено при всех $t \geq \iota(\alpha)$.

2. (Причинность.) Пусть τ, $t \in T$ и $\tau < t$. Если ω, $\omega' \in \Omega$ и $\omega_{(\tau, t]} = \omega'_{(\tau, t]}$,то $f_\alpha(t, \omega) = f_\alpha(t, \omega')$ при всех α, для которых $\tau = \iota(\alpha)$.

II. Модель абстрактного преобразователя вычислений

Определим модель абстрактного преобразователя вычислений в условиях деструктивных возмущений вычислительной среды следующим образом.

A. *Определение 7*

Абстрактным преобразователем вычислений в условиях деструктивных возмущений вычислительной среды Σ называется сложное математическое понятие, определяемое следующими аксиомами.

- (a) Заданы множество моментов времени T, множество состояний вычислений X, множество мгновенных значений входных величин U, множество допустимых входных величин $\Omega=\{\omega: T \to U\}$, множество мгновенных значений выходных величин Y и множество допустимых выходных величин $\Gamma=\{\gamma: T \to Y\}$.
- (b) (Направление времени) Множество Y есть некоторое упорядоченное подмножество множества вещественных чисел.
- (c) Множество входных величин Ω удовлетворяет следующим условиям:

1. (Нетривиальность) Множество Ω не пусто.

2. (Сочленение входных величин) Назовём *отрезком входного воздействия* $\omega = \omega_{(t_1, t_2]}$ для $\omega \in \Omega$ сужение ω на $(t_1, t_2] \cap T$. Тогда если ω, $\omega' \in \Omega$ и $t_1 < t_2 < t_3$, то найдётся такое $\omega'' \in \Omega$, что $\omega''_{(t_1, t_2]} = \omega_{(t_1, t_2]}$ и $\omega''_{(t_2, t_3]} = \omega'_{(t_{21}, t_3]}$.

- (d) Существует *переходная функция состояния* φ: $T \times T \times X \times \Omega \to X$, значениями которой служат состояния $x(t)=\varphi(t; \tau, x, \omega) \in X$, в которых оказывается система в момент времени $t \in T$, если в *начальный момент времени* $\tau \in T$ она была в *начальном состоянии* $x = x(\tau) \in X$ и если на её вход поступила *входная величина* $\omega \in \Omega$. Функция φ обладает следующими свойствами:

1) (Направление времени) Функция φ определена для всех $t \geq \tau$ и необязательно определена для всех $t < \tau^2$.

2) (Согласованность) Равенство $\varphi(t; t, x, \omega)=x$ выполняется при любых $t \in T$, любых $x \in X$ и любых $\omega \in \Omega$.

3) (Полугрупповое свойство) Для любых $t_1 < t_2 < t_3$ и любых $x \in X$ и $\omega \in \Omega$ имеем $\varphi(t_3; t_1, x, \omega) = \varphi(t_3; t_2, \varphi(t_2; t_1, x, \omega), \omega)$.

4) (Причинность) Если ω, $\omega'' \in \Omega$ и $\omega_{(\tau, t]} = \omega'_{(\tau, t]}$, то $\varphi(t; \tau, x, \omega) = \varphi(t; \tau, x, \omega')$

- (e) Задано *выходное отображение* η: $T \times X \to Y$, определяющее выходные величины $y(t) = \eta(t, x(t))$. Отображение $(\tau, t] \to Y$, задаваемое соотношением $\sigma \mapsto \eta(\sigma, \varphi(\sigma; \tau, x, \omega))$, $\sigma \in (\tau, t])$, называется *отрезком входной величины*, т.е. сужением $\gamma_{(\tau, t]}$ некоторого $\gamma \in \Gamma$ на $(\tau, t]$.

Дополнительно пару (τ, x), где $\tau \in T$ и $x \in X$, назовем *событием* (или *фазой*) системы Σ, а множество $T \in X$ – *пространством событий* (или *фазовым пространством*) системы Σ. Переходную функцию состояний φ (или её график в пространстве событий) назовем *траекторией или кривой решения* и т.д. Здесь входное воздействие, или *управление* ω, *переносит, переводит, изменяет, преобразует* состояние x (или событие (τ, x)) в состояние $\varphi(t; \tau, x, \omega)$ (или в событие $(t, \varphi(t; \tau, x, \omega))$). Под *движением системы* понимается функция состояний φ.

B. *Определение 8*

В более общем виде модель абстрактного вычислителя в условиях возмущений $\Re$ с дискретным временем, m входами и p выходами над полем целых чисел K представляется сложным объектом $(\aleph, \wp, \Diamond)$, где отображения $\aleph: \ell \to \ell, \wp: K^m \to \ell, \Diamond: \ell \to K^p$ суть абстрактные K-гомоморфизмы, ℓ — некоторое абстрактное векторное пространство над K. Размерность пространства $\ell(\dim \ell)$ определяет размерность системы $\Re(\dim \Re)$.

Выбранное представление позволило сформулировать и доказать в работе утверждения, подтверждающие принципиальное существование искомого решения [2–7].

III. Идеология вычислений с памятью для привития иммунитета к возмущениям

На основе приведенных определений раскроем сущность идеологии вычислений с памятью для привития иммунитета к возмущениям следующим образом.

A. *Определение 9*

Вычислением с памятью называется сложное математическое понятие динамической системы Σ, определяемое следующими аксиомами.

- (a) Заданы множество моментов времени T, множество состояний вычислений X в условиях деструктивных воздействий, множество мгновенных значений штатных и деструктивных входных воздействий U, множество допустимых входных воздействий Ω={ω: T → U}, множество мгновенных значений выходных величин Y и множество выходных величин восстановленных вычислений Γ={γ: *T* → *Y* }.
- (b) (Направление времени) Множество *Y* есть некоторое упорядоченное подмножество множества вещественных чисел.
- (c) Множество допустимых входных воздействий Ω удовлетворяет следующим условиям:

1. (Нетривиальность) Множество Ω не пусто.

2. (Сочленение входных величин) Назовём *отрезком входного воздействия* $\omega = \omega_{(t_1,t_2]}$ для ω∈ Ω сужение ω на $(t_1, t_2]\cap T$. Тогда если ω, ω′∈Ω и $t_1<t_2<t_3$, то найдётся такое ω″∈Ω, что $\omega''_{(t_1,t_2]} = \omega_{(t_1,t_2]}$ и $\omega''_{(t_2,t_3]} = \omega'_{(t_{21},t_3]}$.

- (d) Существует *переходная функция состояния* φ: *T*×*T*×*X* ×Ω→*X*, значениями которой служат состояния $x(t)=\varphi(t;\ \tau,\ x,\ \omega)\in X$, в которых оказывается система в момент времени $t\in T$, если в *начальный момент времени* $\tau \in T$ она была в *начальном состоянии* $x=x(\tau)\in X$ и если на неё действовало *входное воздействие* ω∈ Ω. Функция φ обладает следующими свойствами:

5. (Направление времени) Функция φ определена для всех $t\geq\tau$ и не обязательно определена для всех $t<\tau^4$.

6. (Согласованность) Равенство $\varphi(t;\ t,\ x,\ \omega)= x$ выполняется при любых $t \in T$, любых $x \in X$ и любых ω∈Ω.

7. (Полугрупповое свойство) Для любых $t_1<t_2<t_3$ и любых $x \in X$ и ω∈ Ω имеем $\varphi(t_3;\ t_1,\ x,\ \omega)=\varphi(t_3;\ t_2,\ \varphi(t_2;\ t_1,\ x,\ \omega),\ \omega)$.

8. (Причинность) Если ω, ω″∈ Ω и $\omega_{(\tau,\ t]}=\omega'_{(\tau,\ t]}$, то $\varphi(t;\ \tau,\ x,\ \omega) = \varphi(t;\ \tau,\ x,\ \omega')$

- (e) Задано *выходное отображение* η: *T*×*X*→*Y*, определяющее выходные величины $y(t)=\eta(t,\ x(t))$ как результат самовосстановления. Отображение $(\tau,\ t]\rightarrow Y$, задаваемое соотношением $\sigma\mapsto\eta(\sigma,\ \varphi(\sigma;\ \tau,\ x,\ \omega))$, $\sigma\in(\tau,\ t])$, называется *отрезком входной величины*, т.е. сужением $\gamma_{(\tau,\ t]}$ некоторого γ∈Γ на $(\tau,\ t]$.

IV. Заключение

Приведенные понятия самовосстанавливающихся вычислений достаточно общие, но уже позволяют выработать единую концепцию самовосстановления вычислений в реальных условиях возмущений вычислительной среды современных вычислительных систем [5–10]. Для разработки соответствующих опытных образцов программно-аппаратных систем самовосстановления вычислений требуется дальнейшая детализация и развитие введенных понятий.

Список литературы

[1] Барабанов А., Марков А., Цирлов В., Процедура доказанного развития мер, чтобы проектировать безопасное программное обеспечение для автоматизированных систем управления процессом // 12-я Международная сибирская Конференция по Контролю и Коммуникациям (Москва, Россия, 12-14 мая 2016).

[2] Барабанов А., Марков А., Цирлов В., Методологическая структура для анализа и синтеза ряда безопасных средств управления разработкой программного обеспечения // Журнал Теоретических и прикладных информационных технологий, 2016, издание 88, № 1, стр 77-88.

[3] A. Dorofeev, A. Markov, V. Tsirlov, Social Media in Identifying Threats to Ensure Safe Life in a Modern City, Communications in Computer and Information Science, 2016, vol. 674, pp. 441-449.

[4] Дрожжинов В.И. и др. Стратегический подход к формированию цифрового правительства США //International Journal of Open Information Technologies. 2017. Т. 5. №. 4.

[5] V. Kupriyanovsky, Information technology in the university system, science and innovation of the digital economy on the example of the UK //International Journal of Open Information Technologies, 2016, T. 4, No. 4, pp. 30-39.

[6] Markov, A., Luchin, D., Rautkin, Y., Tsirlov, V. (2015). Evolution of a Radio Telecommunication Hardware-Software Certification Paradigm in Accordance with Information Security Requirements. In Proceedings of the 11th International Siberian Conference on Control and Communications (Omsk, Russia, May 21-23, 2015).

[7] A. Markov, A. Fadin, V. Tsirlov. Multilevel Metamodel for Heuristic Search of Vulnerabilities in The Software Source Code, International Journal of Control Theory and Applications, 2016, vol. 9, No 30, pp. 313-320.

[8] Петренко А.С., Петренко С.А. Проектирование корпоративного сегмента СОПКА // Защита информации. Инсайд. 2016. № 6 (72). С. 47–52.

[9] Петренко А.С., Петренко С.А. Технологии больших данных (Big Data) в области информационной безопасности // Защита информации. Инсайд. 2016. № 4 (70). С. 82–88.

[10] Петренко А.А., Петренко С.А. Киберучения: методические рекомендации ENISA // Вопросы кибербезопасности. 2015. № 3 (11). С. 2–14.

[11] Пряников М.М., Чугунов А.В., Блокчейн как коммуникационная основа формирования цифровой экономики: преимущества и проблемы // International Journal of Open Information Technologies - 2017. Т.5. №. 6.

[12] Синягов С.А. и др. Строительство и инженерия на основе стандартов BIM как основа трансформаций инфраструктур в цифровой экономике //International Journal of Open Information Technologies. 2017. Т. 5. №. 5.