

УДК 004.94: 517.977.11: 681.518

# ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ

**С.П. Ботуз**

*Институт государственной службы и управления РАНХиГС при Президенте Российской Федерации.*  
Россия, 119606, Москва, проспект Вернадского, 84  
E-mail: bsp\_serg@mail.ru

**В.С. Цыганова**

*АО «Научно-исследовательский и конструкторский институт монтажной технологии – Атомстрой»*  
Россия, 127410, Москва, шоссе Алтуфьевское, 43, стр. 2  
E-mail: kind\_witch@list.ru

**Ключевые слова:** графоаналитический интерфейс, эргатические системы управления, системы технического зрения, многомерные данные.

**Аннотация:** Рассмотрены методы и модели синтеза персонифицированного (проблемно-ориентированного) графоаналитического интерфейса экстремальных эргатических систем управления и контроля (ЭСУиК) и соответствующих интеллектуальных человеко-машинных (эргатических) систем технического зрения (ИЭСТЗ) обработки параметров многомерных числовых данных (МД). В результате показано, что для заданного набора МД в процессе визуализации (отображения) параметров исследуемого динамических процессов ЭСУиК и сетевой обработки и визуализации кадров наблюдаемых изображений, координаты которых получают на основе совместного решения систем линейных уравнений, каждое из которых есть визуализация многофакторных шкал сложности в проективном нормализованном пространстве, предоставляется возможность ЛПР или его агентам ИЭСТЗ ЭСУиК осуществлять обработку (кодирование/декодирование и визуализацию) соответствующих многомерных данных на основе использования нестационарного или нормированного проективного базиса, обеспечивая, например, непрерывное слежение за состоянием отображаемой информации на экране монитора в темпе формирования МД.

## 1. Введение

Актуальная задача синтеза персонифицированного графоаналитического интерфейса в процессе визуализации (интерпретации) многомерных числовых данных (МД) в современных экстремальных эргатических системах управления и контроля (ЭСУиК) и соответствующих интеллектуальных человеко-машинных (эргатических) системах технического зрения (ИЭСТЗ) обработки МД (например, в системах обнаружения и распознавания целей, в системах неразрушаемого контроля и т.п.), как правило, осуществляется на основе анализа сцен по комплексированному изображению МД. Сетевая обработка МД изображений производится в пространственной области. При этом один канал обработки МД является опорным, остальные – вспомогательными. Процесс комплексирования осуществляется относительно опорного канала обработки МД. Для таких ЭСУиК, например, как системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с помощью беспилотных транспортных средств, на первом этапе производятся аффинные преобразования МД кадров изображений во вспомогательных каналах для совмещения их изображений с

изображением опорного канала [1-5]. Основная особенность этого этапа состоит в том, что в управляющий контур таких ИЭСТЗ ЭСУиК входят операторы (эксперты – лица, принимающие решения (ЛПР) или  $L_i(t_j)$  – вектор состояния  $i$ -го ЛПР в  $t_j$  момент времени,  $\forall i, j = 0, 1, \dots, n$ ) в различных предметных областях (например, пилоты ЛА, пользователи или эксперты в области геоинформационных систем (ГИС), специалисты сельского хозяйства и другие). Этот этап предполагает наличие диалоговых (интеллектуальных интерактивных) процедур  $L_i(t_j)$  с соответствующими вычислительными и другими средствами обработки и представления баз данных и баз знаний (БД/БЗ) в заданной предметной области (Про).

В этой связи в докладе основное внимание уделено первому этапу интеллектуальной обработки МД на основе применения аппарата графоаналитического исчисления для синтеза персонифицированного графоаналитического интерфейса и соответствующего аппарата графоаналитических бинарных полей (ГАБП) или дискретных кадров анализируемых МД изображений [6–10].

Цель настоящей работы – автоматизированный синтез устойчивых алгоритмов, обеспечивающих повышение информативности (осведомленности и т.п.)  $L_i(t_j)$ , необходимые для принятия решения в темпе сетевого формирования соответствующих МД (например, видеоданных) на экране монитора  $L_i(t_j)$ . Тем самым обеспечивая возможность сократить время адаптации ИЭСТЗ ЭСУиК на этапах решения прикладных задач, связанных с интеллектуальной (интерактивной) сетевой обработкой многомерных данных различной физической природы в реальном масштабе времени.

## 2. Методы и модели

На основе определения, приведенного в [5], под графоаналитическим бинарным полем (ГАБП) следует понимать некоторое отображение параметров исследуемого динамического процесса, координаты которого получают на базе совместного решения систем линейных уравнений, каждое из которых есть многофакторная шкала сложности (МШС) параметров анализируемых кадров изображений. В свою очередь многофакторная шкала сложности может быть сформирована каждым  $L_i(t_j)$  ИЭСТЗ для обработки (кодирования/декодирования и визуализации) соответствующих многомерных данных.

Для упрощения анализа по аналогии с [5, 7] рассмотрим конструктивные элементы формирования геометрии одного графоаналитического (ГА) бинарного поля в различных системах координат, позволяющие осуществить декомпозицию исходной задачи синтеза ГА бинарных параметрических полей в процессе сопровождения  $L_i(t_j)$  ИЭСТЗ ЭСУиК или его сетевого агента.

В работе [5] рассмотрено конструктивное описание ГА бинарного поля при фиксированном проективном базисе  $(a, R)$ . Этот вариант синтеза ГА бинарного поля интерфейса ЭСУиК приведен на рис. 1(а).

Согласно рис. 1(а), образующие ГА бинарное поле вектора интерфейса ЭСУиК имеют следующий вид:

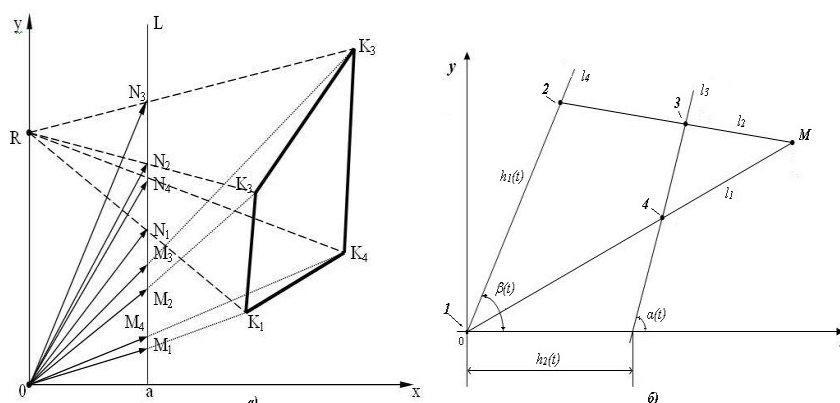
$$\begin{aligned} &\overrightarrow{OM_1}(a, m_1); \quad \overrightarrow{ON_1}(a, n_1); \quad \overrightarrow{OM_2}(a, m_2); \quad \overrightarrow{ON_2}(a, n_2); \\ &\overrightarrow{OM_3}(a, m_3); \quad \overrightarrow{ON_3}(a, n_3); \quad \overrightarrow{OM_4}(a, m_4); \quad \overrightarrow{ON_4}(a, n_4); \end{aligned}$$

где  $m_i$  и  $n_i \quad \forall i = \overline{1,4}$ , координаты вершин векторов на оси  $Y$ .

Непосредственно из рис. 1(а) видно, что векторная запись ГА бинарного поля принимает следующий вид:

$$\overrightarrow{OK_1} = \lambda_1 \overrightarrow{OM_1}, \quad \lambda_1 = \frac{R}{R-(n_1-m_1)}; \quad \overrightarrow{OK_2} = \lambda_2 \overrightarrow{OM_2}, \quad \lambda_2 = \frac{R}{R-(n_2-m_2)};$$

$$\overrightarrow{OK_3} = \lambda_3 \overrightarrow{OM_3}, \lambda_3 = \frac{R}{R-(n_3-m_3)}; \overrightarrow{OK_4} = \lambda_4 \overrightarrow{OM_4}, \lambda_4 = \frac{R}{R-(n_4-m_4)}.$$



**Рис. 1.** Графоаналитическое бинарное поле (а) (или один кадр параметров анализируемого изображения) при фиксированном проективном базисе и (б) обратная задача синтеза персонифицированного интерфейса – графоаналитического бинарного поля для интерактивного синтеза персонифицированного графоаналитического интерфейса в процессе визуализации МД на плоскости экрана монитора моделей взаимодействия ЛПР ИЭСТЗ ЭСУиК в условиях использования семантической платформы изобретений в области контроля состояния навигации беспилотных транспортных средств.

В результате очевидна справедливость следующего утверждения.

**Утверждение 1.** Для конструктивного описания параметров графоаналитического интерфейса бинарного поля на плоскости достаточно задать или определить координаты проективного базиса.

Для синтеза алгоритмов графоаналитического интерфейса первого этапа сетевой обработки и анализа параметров МД на экране монитора ЭСУиК в докладе рассмотрена обратная задача синтеза ГАБП – задача кодирования/декодирования многомерных бинарных полей (или пикселей МД кадров изображений) на основе использования основных параметров  $h_1(t)$ ,  $h_2(t)$ ,  $\alpha(t)$  и  $\beta(t)$  нестационарного проективного базиса (см. рис.1(б)).

Результаты работы могут быть сформулированы в виде следующих утверждений.

**Утверждение 2.** Биективное кодирование/декодирование любой точки  $M(x(t);y(t))$  графоаналитического интерфейса на плоскости монитора ЭСУиК (в  $R^2$  ГАБП) можно осуществить в нестационарном проективном базисе (НПБ) или в когнитивном базисе ЛПР ( $L_i(t)$ ) или его сетевого агента, используя основные – реперные параметры анализируемого кадра изображения.

Соответствующие соотношения для определения реперных параметров НПБ имеют следующий вид:

для 1-й реперной точки НПБ –  $x_1(t) = 0; y_1(t) = 0;$

для 2-й реперной точки НПБ –  $x_2(t) = h_1(t)\cos(\beta(t)); y_2(t) = h_1(t)\sin(\beta(t));$

для 3-й реперной точки НПБ –  $x_3(t) = (y_0(t) - x_0(t)C(t) + h_2(t)\text{tg}(\alpha(t)))/(\text{tg}(\alpha(t) - C(t));$

$y_3(t) = x_3(t) \text{tg}(\alpha(t)) - h_2(t)\text{tg}(\alpha(t));$

для 4-й реперной точки НПБ –  $x_4(t) = h_2(t)\text{tg}(\alpha(t))/(\text{tg}(\alpha(t) - y_0(t))/x_0(t));$

$y_4(t) = \text{tg}(\alpha(t)(x_4(t) - h_2(t));$

где  $C(t) = (h_1(t)\sin(\beta(t)) - y_0(t))/(h_1(t)\cos(\beta(t)) - x_0(t);$   $h_1(t)$ ,  $h_2(t)$ ,  $\alpha(t)$  и  $\beta(t)$  основные параметры нестационарного проективного базиса, при этом  $C(t) = (h_1(t)\sin(\beta(t)) - y_0(t))/(h_1(t)\cos(\beta(t)) - x_0(t);$   $(h_1(t), h_2(t)) \in R^2;$   $\alpha(t)$  и  $\beta(t) \neq k\pi/2, k = 1, 2, \dots, \forall t \in R^1.$

**Утверждение 3.** Для случая нормализованного стационарного проективного базиса биективное кодирование/декодирование любой точки  $M(x(t_i);t_i)$

персонализированного графоаналитического интерфейса в  $R^2$  ГАБП (или пикселей плоскости экрана монитора экстремальных эргатических систем управления и контроля) можно осуществить на основе следующих соотношений:

$$\left. \begin{aligned} l_1 &\Rightarrow \Delta t_i(x - x(t_i)) - \Delta x_i(t - t_i) = 0; \\ l_2 &\Rightarrow \Delta t_i(x - x(t_i)) + \Delta x_i(t - t_i) = 0; \end{aligned} \right\} M(x(t_i), t_i) \in (l_1, l_2) \in R^2, \forall \Delta t_i, \Delta x_i \neq 0;$$

при  $(|\sup(\Delta t_i)| = |\inf(\Delta t_i)| \wedge |\sup(\Delta x_i)| = |\inf(\Delta x_i)|, \forall t_i, i = 0, 1, \dots$

На основе введенных в [11] определений теорему Ляпунова об устойчивости алгоритмов динамических процессов формирования ГАБП можно сформулировать в следующем виде.

**Теорема.** Если в некоторой замкнутой области  $\Omega$ , содержащей начало координат, существует функция Ляпунова  $\mathcal{E}_{G\lambda_i^\varepsilon}(x_1, x_2, \dots, x_n)$  или ее ГА оценки (нижние  $\underline{G\lambda_i^\varepsilon}$  и верхние  $\overline{G\lambda_i^\varepsilon}$  оценки), то начало координат ГАБП является особой устойчивой точкой.

Более того, если функция  $-\frac{d\mathcal{E}_{G\lambda_i^\varepsilon}}{dt} = -W(x_1, x_2, \dots, x_n)$  также положительно определена в области  $\Omega$  или если движение изображающей точки интегральной кривой исследуемого динамического процесса формирования графоаналитического интерфейса ЭСУиК может быть идентифицировано некоторой нелинейной системой нелинейной системой дифференциальных уравнений (СДУ)

$$\frac{dx_i}{dt} = F_i(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

в предположении, что для данной системы СДУ начало координат является особой точкой и при  $t \rightarrow \infty$  изображающая точка последовательно пересекает границы  $\underline{G\lambda_i^\varepsilon}$  и  $\overline{G\lambda_i^\varepsilon}$ , где  $\underline{G\lambda_{i+1}^\varepsilon} \subset \underline{G\lambda_{i1}^\varepsilon} \subset \Omega$  и  $\overline{G\lambda_{i+1}^\varepsilon} \subset \overline{G\lambda_i^\varepsilon} \subset \Omega$  ( $\forall i = 1, 2, \dots$ ), каждая из которых содержит начало координат, то устойчивость алгоритмов динамики формирования ГА интерфейса ЭСУиК является асимптотической.

Таким образом, на основе применения ГАБП предоставляется возможность использовать топологические свойства дуальности плоскости монитора ЭСУиК ( $\mathcal{Y}_{G\lambda_i} \subset R^2$ ) в соотношениях между векторами и ковекторами, которые теряются при традиционных подходах визуализации МД (например, в фазовом пространстве) различных нелинейных информационных процессов, происходящих в ЭСУиК при формировании персонализированного графоаналитического интерфейса в заданной ПрО человеко-машинного (эргатического) интерфейса в динамике сопровождения  $L_i(t_j)$  ИСТЗ ЭСУиК или его сетевого агента.

### 3. Заключение

Для известного или заданного набора многомерных данных в процессе визуализации (отображения) параметров исследуемого динамического состояния ЭСУиК:

- сетевой обработки и визуализации кадров наблюдаемых изображений, координаты которых получают на основе совместного решения систем линейных уравнений, каждое из которых есть визуализация многофакторных шкал сложности в проективном нормализованном пространстве плоскости монитора ЭСУиК;
- предоставляется возможность ЛПР или его сетевым агентам ИЭСТЗ ЭСУиК осуществлять обработку (кодирование/декодирование и визуализацию) соответствующих многомерных данных на основе использования нестационарного или нормированного проективного проблемно-ориентированного графоаналитического интерфейса (базиса), обеспечивая, например, непрерывное

слежение за состоянием отображаемой информации на экране монитора непосредственно в темпе их формирования и восприятия ЛПП или его сетевого агента. При этом предоставляется возможность сократить время обучения и адаптации ИЭСТЗ ЭСУиК с целью автоматизации решения задач, связанных с интеллектуальной сетевой обработкой и анализом многомерных данных, исследуемых параметров кадров изображений, на основе использования опыта и знаний конкретного специалиста или его сетевых агентов в заданной предметной области.

## Список литературы

1. Гуров В.С., Колодыко Г.Н., Костяшкин Л.Н. и др. Обработка изображений в авиационных системах технического зрения / Под ред. Л.Н. Костяшкина, М.Б. Никифорова. М.: Физматлит, 2016. 240 с.
2. Li Z., Liu Z., Yang W.A. A method of visual-infrared sensor fusion for target region // Proc. SPIE. 1997. Vol. 3068. P. 591-596.
3. Ботуз С.П. Методы поискового проектирования интеллектуальных систем технического зрения эргатических систем управления / Сб. тез. «Техническое зрение в системах управления – 2017». М. ИКИ РАН, ИПМ РАН, ГосНИИАС, 2017. С. 7-9.
4. Ботуз С.П. Синтез поведенческих моделей сложно-функциональных блоков эргатических систем многоагентного ситуационного управления сетевыми субъектами и объектами интеллектуальной собственности // Труды Четырнадцатой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2021), ИПУ РАН, 2021. С. 287-296.
5. Ботуз С.П. Интеллектуальные интерактивные системы и технологии управления удаленным доступом. М.: СОЛОН-Пресс, 2014. 340 с.
6. Ботуз С.П. Теоретические основы и инструментальные средства графоаналитического исчисления в интегрированной среде MatLab // Сб. трудов Всероссийской научной конференции «Проектирование научных и инженерных приложений в среде Matlab». М.: ИПУ РАН, 2002. С. 29-33.
7. Ботуз С.П. Автоматизация исследования, разработки и патентования позиционных систем программного управления. М.: Наука. Физматлит, 1999. 316 с.
8. Ботуз С.П., Крылов В.П., Пронин Т.Ю. и др. Программный комплекс интеллектуальной системы интерактивного синтеза семантических моделей поискового проектирования и экспертизы радиационно-стойких электронных средств беспилотных космических аппаратов. РОСПАТЕНТ. Свидетельство № 2015617142 от 01.07.2015.
9. Ботуз С.П., Попов Б.Н., Сыров А.С. Методы и модели распределенного управления основными процессами проектирования многопроцессорных систем космических аппаратов // Сб. трудов Всероссийской суперкомпьютерной конференции «Научный сервис в сети Интернет: масштабируемость, параллельность, эффективность». М.: НИВЦ МГУ, 2009. С. 130-133.
10. Ботуз С.П., Цыганова В.С. Синтез сетевых графоаналитических протоколов защиты и сопровождения динамических поисковых процессов и систем // Безопасность информационных технологий. 2015. Т. 22, № 1, 2015. С. 65-66.
11. Ботуз С.П. Метод графоаналитической оценки устойчивости нелинейных систем управления // Тез. докладов VII Международного семинара «Устойчивость и колебания нелинейных систем управления». М.: ИПУ РАН, 2002. С. 108-110.