

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт программных систем им. А.К. Айламазяна Российской
академии наук

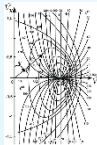
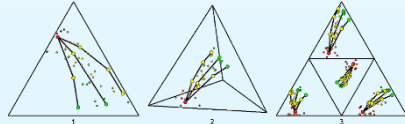

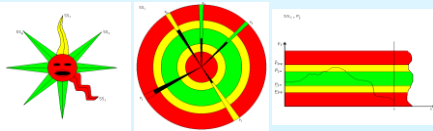
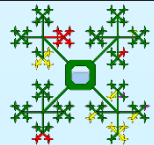

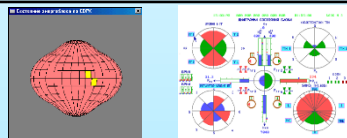
Когнитивные образы для визуального анализа состояний сложных объектов применительно к космической отрасли

Емельянова Юлия Геннадиевна, Хачумов Вячеслав Михайлович

Актуальность

- Когнитивная визуализация больших объемов многомерных данных, поступающих от систем космического назначения, является перспективным направлением исследований.
- В настоящее время нет единых принципов построения системы когнитивных образов, способных предоставлять в надёжно воспринимаемых формах интенсивные потоки информации.
- Актуальным является создание новых подходов к построению интерфейсов человеко-машинного взаимодействия в космической отрасли.

Таблица 1 – Сравнение методов когнитивного представления ситуаций (фрагмент)

№	Название, автор	Назначение	Образ	Виды контролируемых систем		Контроль уровня отклонения	Универсальность
				ДС РВ	Сложные иерархии		
1	Годограф, Бурдаев М.Н.	Когнитивный контроль и управление КА		+	-	+	-
2	n-симплекс, Янковская А.Е.	Распознавание образов		-	+	+	+
3	Звезда, Гришин В.Г	Распознавание образов		+	-	-	+
4	Ядро с лучами, Вагин В.Н., Еремеев А.П.	Диагностика и визуализация для сложного технического объекта		+	+	+	+
5	Фрактал, Новосёлов Ю.В.	Диагностика и визуализация для сложного технического объекта		+	+	-	+
6	Образ для системы поддержания избыточного давления в баке КА, Ксенофонтова Е.В.	Диагностика и визуализация для сложного технического объекта		+	+	+	-
7	Образ для операторов атомных электростанций, Башлыков А.А.	Диагностика и визуализация для сложного технического объекта		+	+	+	-

Постановка задачи

Назначение когнитивной графики применительно к НС КИС – преобразование вида $f : C \rightarrow G$, где C – множество контролируемых данных или ситуаций, G – множество графических образов, отображающих ситуации.

Преобразование f ситуации C в когнитивный образ G должно удовлетворять требованию максимизации функционала

$$\Phi(G) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \Phi_i(G) - \sum_{i=m+1}^n \lambda_i \Phi_i(G) \rightarrow \max,$$

где $\Phi_i(G)$ – числовые оценки показателей качества когнитивного образа (нормированные частные критерии), λ_i – весовые коэффициенты критериев, $\lambda_i \geq 0$ и $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$.

Показатели качества когнитивного графического образа:

- 1) ситуационная интерпретируемость аномалии ($\lambda_1 = 0.221$);
- 2) селективность аномалии ($\lambda_2 = 0.214$);
- 3) ситуационная интерпретируемость критического состояния ($\lambda_3 = 0.164$);
- 4) селективность критического состояния ($\lambda_4 = 0.157$);
- 5) математическое ожидание времени целевого зрительного поиска нужной информации ($\lambda_5 = 0.104$);
- 6) наглядность ($\lambda_6 = 0.093$);
- 7) структурность ($\lambda_7 = 0.039$);
- 8) целостность ($\lambda_8 = 0.025$)

Количественная оценка когнитивно-графического интерфейса

Определение 4. Ситуационная интерпретируемость (Емельянова) – это очевидность состояния системы, означает, что в когнитивно-графическом образе содержится информация, позволяющая давать интерпретацию состояния параметров, подсистем и всего объекта наблюдения в целом.

n – количество сегментов;

$$\Phi_{\text{int}} = 1 - |R|, \text{ где } R = \frac{\sum_{i=1}^n (H_i^Y - H^Y)(H_i^L - H^L)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (H_i^Y - H^Y)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (H_i^L - H^L)^2}} \text{ (Кузнецов, Бугаков);}$$

$i = 1, 2, \dots, n$; n – количество сегментов; H_i^Y, H_i^L – энтропия i -го сегмента эталона и идентифицируемого образа соответственно; H^Y, H^L – средняя энтропия эталона и идентифицируемого образа; $H_i = -\sum_i p(i) \ln p(i)$ – энтропии сегментов изображения;

$$p_i = \frac{\sum_{j=1}^k R_j^i + \sum_{j=1}^k G_j^i + \sum_{j=1}^k B_j^i}{\sum_{j=1}^M R_j^i + \sum_{j=1}^M G_j^i + \sum_{j=1}^M B_j^i} - \text{ взвешенная цветовая емкость } i\text{-го сегмента;}$$

R_j^i, G_j^i, B_j^i – значения цветовых интенсивностей точек i -го сегмента; k – количество точек в сегменте графического объекта;

M – общее количество точек, содержащихся в графическом объекте.

Количественная оценка когнитивно-графического интерфейса

Определение 5. Селективность (Емельянова) – преимущественное выделение сигнала опасности по сравнению с другими. Предложено (Емельянова) вычислять селективность по ранее известной функции информативности (Завалишин, Мучник):

$$\Phi_{sel} = \max (I_{inf} (t, s)) = \max (I_B (t, s) - 2I_A (t, s)),$$

где I_{inf} – значение функции информативности (Вичевская, Мурынов) в пределах сигнала опасности, (t, s) – смещение относительно центра,

$$I_A (t, s) = \iint_{A(t, s)} F(x-t, y-s) dx dy, \quad I_B (t, s) = \iint_{B(t, s)} F(x-t, y-s) dx dy,$$

F – и сходное изображение, A – площадь стандартного изображения, B – площадь окна, (x, y) – координаты центра окна.

Количественная оценка когнитивно-графического интерфейса

Определение 6. Целостность (Майоров) – когнитивно-графические образы должны представлять собой целостные, законченные, предметно оформленные структуры.

$$W_{whol} = k_1P + k_2C + k_3S + k_4T \text{ (Емельянова),}$$

где k_i – весовые коэффициенты, определяющие приоритетность соответствующего принципа при оценке эффективности восприятия, при этом

$$\sum_{i=1}^4 k_i = 1, \quad P = \frac{N_p}{N_o}, \quad N_p \text{ – количество индикаторов, включенных в сложную}$$

замкнутую форму; N_o – общее количество индикаторов; $C = \frac{N_c}{N_f + N_d}$;

N_c – количество индикаторов, скомпонованных в целостный образ, имеющий замкнутый контур; N_f – количество целостных образов; N_d – количество индикаторов, скомпонованных в сложный целостный образ;

$S = \frac{N_s}{N_o}$; N_s – количество индикаторов, скомпонованных по принципу «симметрии»; $T = \frac{N_t}{N_o}$; N_t – количество визуальных элементов,

скомпонованных по принципу «продолжения»; P, C, S, T – численные оценки соблюдения принципов «содержательности», «замкнутости», «симметрии» и «продолжения» соответственно.

Количественная оценка когнитивно-графического интерфейса

Определение 7. Структурность – свойство когнитивно-графического образа, позволяющее воспринимать объект наблюдения в качестве совокупности его подсистем и параметров (Емельянова).

$$W_{str} = k_1B + k_2Z + k_3L + k_4S \text{ (Звенигородский, Коломыйцев),}$$

где k_i – весовые коэффициенты, при этом $\sum_{i=1}^4 k_i = 1$; $B = N_b / N_o$;
 N_b – количество визуальных элементов, скомпонованных по принципу «близости»; N_o – общее количество визуальных элементов; $Z = N_z / N_o$;
 N_z – количество визуальных элементов, скомпонованных по принципу «общей зоны»; $L = N_L / N_o$; N_L – количество визуальных элементов, скомпонованных по принципу «связи»; $S = N_s / N_o$;
 N_s – количество визуальных элементов, скомпонованных по принципу «схожести»; B, Z, L, S – численные оценки соблюдения принципа «близости», «общей зоны», «связи и «схожести» соответственно.

Таблица 3 – Сравнительные характеристики когнитивно-графических образов

Качественный показатель	Название образа			
	Фрактал, (Новоселов Ю.В.)	Ядро с лучами, (Еремеев А.П., Вагин В.Н.)	Циклоидальный образ, (Емельянова Ю.Г.)	Образы для НС КИС, (Емельянова Ю.Г.)
Ситуационная интерпретируемость аномалии	0.001	0.009	0.622	0.049
Ситуационная интерпретируемость критического состояния	0.001	0.104	0.183	0.135
Структурность	0.999	0.976	1	0.928
Наглядность	0.428	0.604	0.642	0.428
Селективность аномалии	0.954	0.874	0.843	0.848
Селективность критического состояния	0.991	0.963	0.851	0.845
Математическое ожидание времени целевого зрительного поиска нужной информации	0.113	0.236	0.321	0.2
Целостность	1	0.985	0.978	0.816
Аддитивный критерий	0.452	0.451	0.571	0.422

Метод когнитивно-графической визуализации радиотехнических сигналов

Анализ сигналов:

1. Определение числовых признаков типовых сигналов.
2. Ранжирование и отбор признаков, формирующих наиболее информативный когнитивный графический образ. Ранжирование выполняется по их информативности на основе алгоритмов Add (Барабаш Ю., 1963 г.) и Del, (Мерилл Т. Грин О., 1963 г.), что позволило получить наиболее выразительные когнитивные образы дискретных сигналов.
3. Построение графических образов, визуализирующих многомерный вектор из признаков сигнала, выполняется по методу полярной развертки:
$$\rho(\varphi) = \sum_{k=1}^n x_k \sin(k\varphi)$$
где ρ и φ – полярные координаты точек контура, $0 \leq \varphi < 360$, x_k – значения информативных параметров, k – номер признака, $x = (x_1, \dots, x_n)$ – вектор информативных параметров сигнала (Гришин В.Г., 1982 г.).
4. Интерпретация когнитивных образов оператором.

Таблица 4 – Когнитивные графические образы сигналов

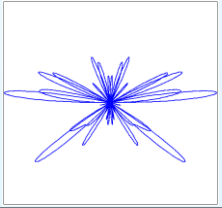
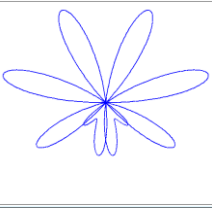
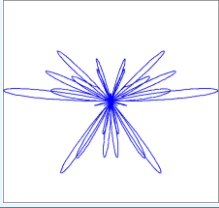
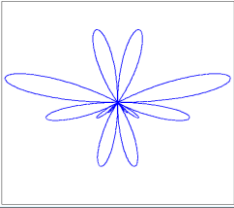
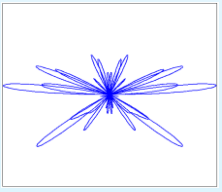
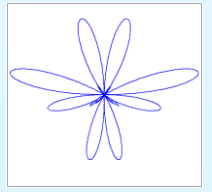
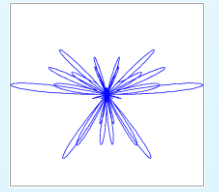
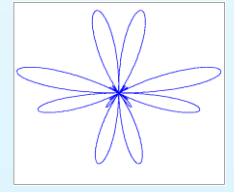
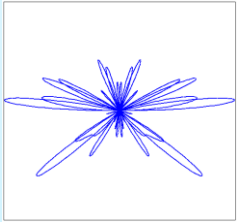
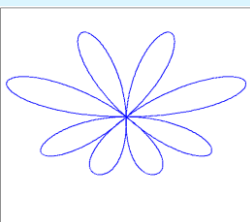
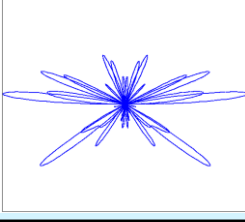
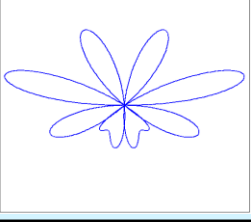
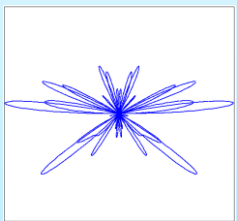
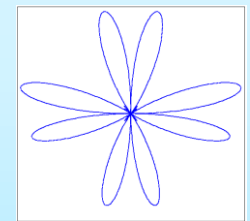
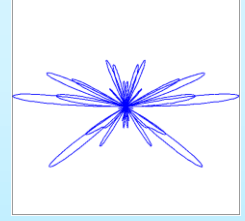
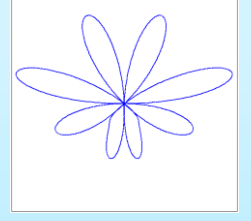
№	Вид сигнала	Контурные образы сигналов, расстояние до эталона		№	Вид сигнала	Контурные образы сигналов, расстояние до эталона	
		а) Add(Del(x1,...,xn)) 1, 16, 14, 27, 19, 3, 23, 0, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 26, 35, 9, 34, 18, 15, 21	б) Del(Add(x1,...,xn)) 30, 36, 38, 14, 9, 10, 34, 18			а) Add(Del(x1,...,xn)) 1, 16, 14, 27, 19, 3, 23, 0, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 26, 35, 9, 34, 18, 15, 21	б) Del(Add(x1,...,xn)) 30, 36, 38, 14, 9, 10, 34, 18
1	Синусоида			3	Функция Дирихле		
	Синусоида с шумом				Функция Дирихле с шумом		
	Расстояние	0.63687			Расстояние	0.28097	
2	Последовательность треугольных импульсов			4	Последовательность прямоугольных импульсов		
	Последовательность треугольных импульсов с шумом				Последовательность прямоугольных импульсов с шумом		
	Расстояние	1.16605			Расстояние	0.09840	

Таблица 5 – Монохромные образы радиотехнических сигналов с различными уровнями шумов

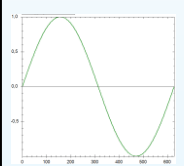
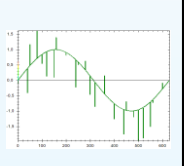
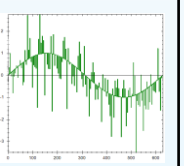
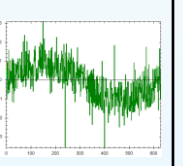
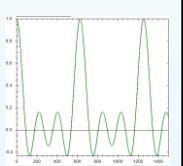
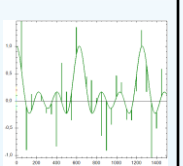
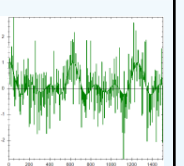
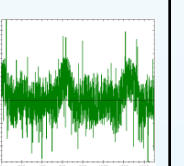
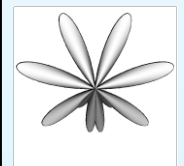
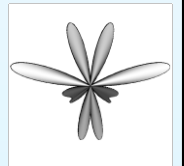
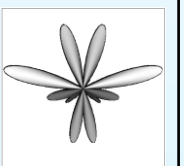
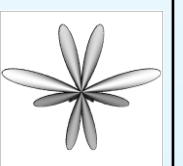

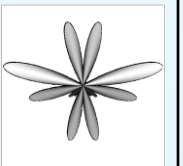
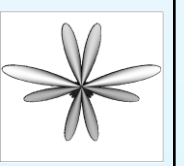
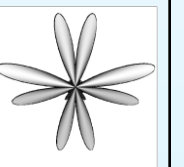
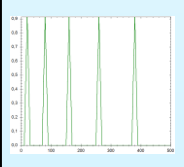
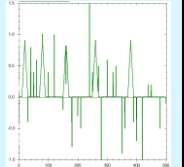
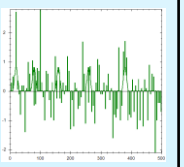
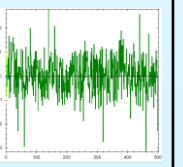
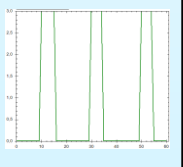
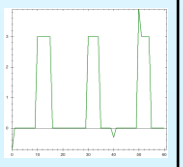
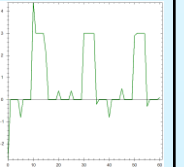
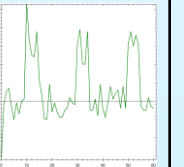
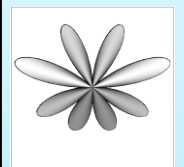
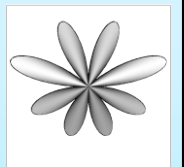
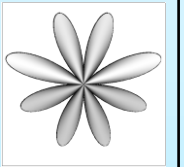
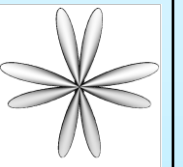
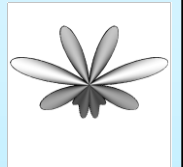
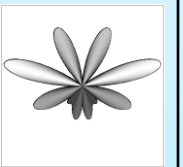
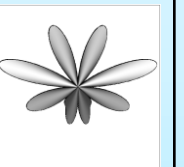
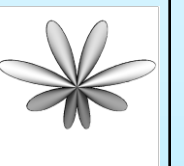
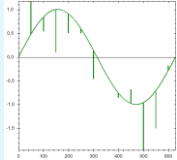
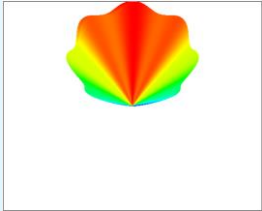
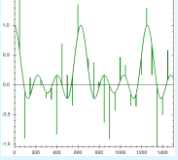
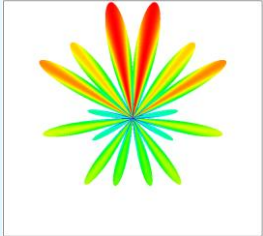
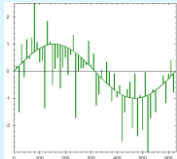
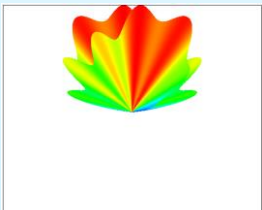
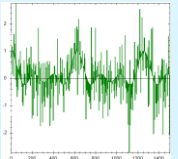
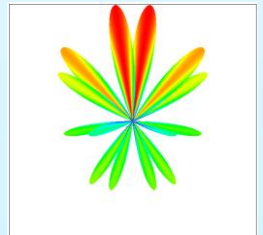
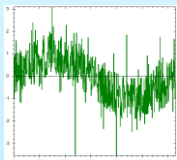
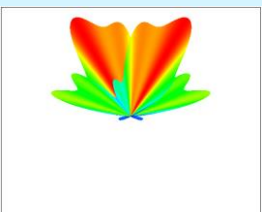
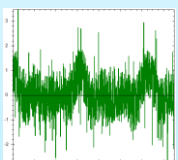
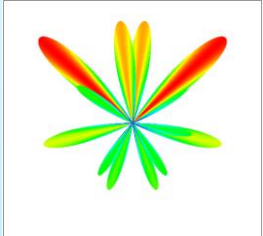
1) Синусоида					3) Функция Дирихле				
График					График				
Степень отличия от эталона	0	0.01533	0.16326	0.49603	Степень отличия от эталона	0	0.00519	0.12462	0.48209
Когнитивный образ					Когнитивный образ				
Расстояние	0	0.42172	0.52790	0.63687	Расстояние	0	0.00229	0.03437	0.28097
2) Последовательность треугольных импульсов					4) Последовательность прямоугольных импульсов				
График					График				
Степень отличия от эталона	0	0.02453	0.14008	0.56114	Степень отличия от эталона	0	0.02279	0.19770	0.64000
Когнитивный образ					Когнитивный образ				
Расстояние	0	0.04794	0.05262	1.16605	Расстояние	0	0.00391	0.01874	0.09840

Таблица 6 – Результаты визуализации разности исследуемых и эталонных сигналов

Синусоида				Функция Дирихле			
График	Степень отличия от эталона	Когнитивный образ	Расстояние Евклида-Махаланобиса	График	Степень отличия от эталона	Когнитивный образ	Расстояние Евклида-Махаланобиса
	0.00590		0.42103		0.00519		0.00229
	0.08156		0.49166		0.12462		0.03437
	0.49603		0.63687		0.48209		0.28097

Метод когнитивной визуализации данных с датчиков положения КА

- D – дальность, км; V – скорость, м/сек; $УКР$ – курсовой угол по первой линии связи; $УТР$ – тангажный угол по первой линии связи; $УКА$ – курсовой угол по второй линии связи; $УТА$ – тангажный угол по второй линии связи; $B1$ – угол крена; $INTV$ – интеграл от скорости

Таблица 7– Парная корреляция датчиков КА

	D	V	$УКР$	$УТР$	$УКА$	$УТА$	$B1$	$INTV$
D	1	0.707	0.149	0.093	0	0.102	0.034	0.150
V	0.707	1	-0.290	-0.174	0.196	-0.361	-0.040	-0.327
$УКР$	0.150	-0.290	1	0.335	-0.469	0.568	0.162	0.971
$УТР$	0.093	-0.174	0.335	1	-0.837	-0.192	0.005	0.400
$УКА$	0	0.196	-0.469	-0.837	1	0.269	-0.062	-0.490
$УТА$	0.102	-0.361	0.568	-0.192	0.269	1	0.121	0.548
$B1$	0.034	-0.040	0.162	0.005	-0.062	0.121	1	0.234
$INTV$	0.150	-0.327	0.971	0.400	-0.490	0.548	0.234	1

Таблица 8 – Результаты имитации сбоев в работе датчиков

	D	V	UKP	UTP	UKA	UTA	B1	INTV
D	1	0.500	0.013	0.022	0.099	0.072	0.008	0.009
V	0.408	1	0.008	0.013	0.057	0.042	0.018	0
UKP	0.012	0.008	1	0.005	-0.002	-0.001	0.020	0
UTP	0.014	0.010	0.004	1	-0.002	0	0.020	-0.0001
UKA	0.062	0.044	-0.003	-0.006	1	0.006	0.019	-0.006
UTA	0.062	0.044	-0.002	-0.004	0.017	1	0.020	-0.005
B1	0	0.004	-0.001	-0.003	0.005	-0.0002	1	-0.004
INTV	0.008	0.005	0.004	0.004	-0.002	-0.002	0.020	1

Таблица 9 – Тройная корреляция датчиков КА (фрагмент)

	D	V	UKP	UTP	UKA	UTA	B1	INTV
D, V	1	1	0.580	0.351	0.278	0.621	0.096	0.630
D, UKP	1	0.813	1	0.338	0.474	0.568	0.162	0.971
D, UTP	1	0.747	0.355	1	0.841	0.226	0.034	0.416
D, UKA	1	0.734	0.492	0.842	1	0.289	0.071	0.513
D, UTA	1	0.831	0.575	0.222	0.271	1	0.123	0.556
D, B1	1	0.710	0.217	0.093	0.062	0.156	1	0.274
D, INTV	1	0.832	0.970	0.402	0.496	0.549	0.235	1
V, UKP	0.799	1	1	0.344	0.473	0.604	0.162	0.972
V, UTP	0.740	1	0.409	1	0.839	0.444	0.040	0.478
V, UKA	0.721	1	0.510	0.837	1	0.500	0.068	0.544
V, UTA	0.804	1	0.575	0.324	0.414	1	0.121	0.565
V, B1	0.710	1	0.327	0.174	0.204	0.376	1	0.494
V, INTV	0.814	1	0.971	0.403	0.492	0.581	0.238	1
UKP, UTP	0.156	0.302	1	1	0.861	0.698	0.170	0.974
UKP, UKA	0.169	0.298	1	0.840	1	0.830	0.163	0.970
UKP, UTA	0.151	0.376	1	0.572	0.801	1	0.166	0.971
UKP, B1	0.150	0.290	1	0.339	0.469	0.569	1	0.974
UKP, INTV	0.151	0.345	1	0.458	0.491	0.568	0.359	1

Spacecraft

File Manipulation Visualization

Open Download Visual

MCK	D	v	UKP	UTP	UKA
02:43:05.27	0.2375	-0.029	1.51	6.58	-0.5
02:43:05.47	0.2367	-0.029	1.54	6.62	-0.5
02:43:05.67	0.2367	-0.029	1.54	6.65	-0.5
02:43:05.88	0.2367	-0.029	1.54	6.65	-0.5
02:43:06.09	0.2367	-0.029	1.54	6.65	-0.5
02:43:06.29	0.2375	-0.029	1.54	6.65	-0.5
02:43:06.49	0.2375	-0.026	1.54		
02:43:06.69	0.2375	-0.026	1.54		
02:43:06.91	0.2375	-0.029	1.54		
02:43:07.11	0.2375	-0.029	1.54		
02:43:07.51	0.2367	-0.027	1.54		
02:43:07.71	0.2375	-0.027	1.54		
02:43:07.73	0.2375	-0.029	1.54		
02:43:07.94	0.2375	-0.029	1.54		
02:43:08.13	0.2383	-0.031	1.54		
02:43:08.35	0.2367	-0.031	1.54		
02:43:08.55	0.2375	-0.038	1.54		
02:43:08.75	0.2375	-0.038	1.54		
02:43:08.95	0.2375	-0.033	1.54		
02:43:09.17	0.2375	-0.033	1.54		

	D	v	UKP	UTP	UKA
D	1	0.7072	0.1494	0.0925	0
V	0.7072	1	-0.2903	-0.1742	0.1962
UKP	0.1494	-0.2903	1	0.3347	-0.4685
UTP	0.0925	-0.1742	0.3347	1	-0.8372
UKA	0	0.1962	-0.4685	-0.8372	1
UTA	0.1021	-0.3608	0.5678	-0.1917	0.269

Visualization

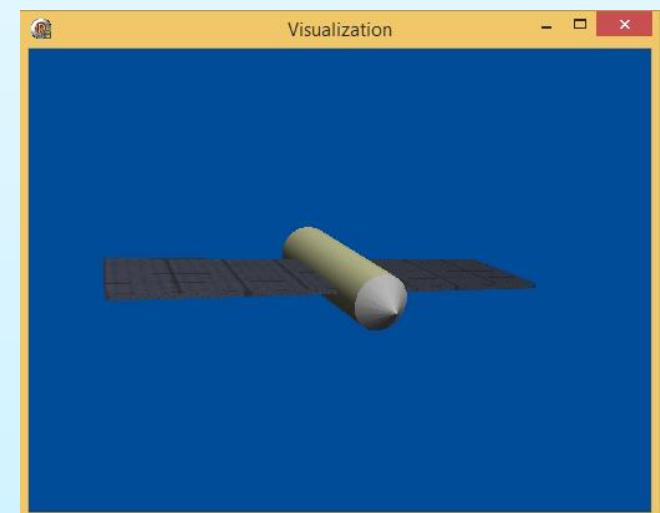
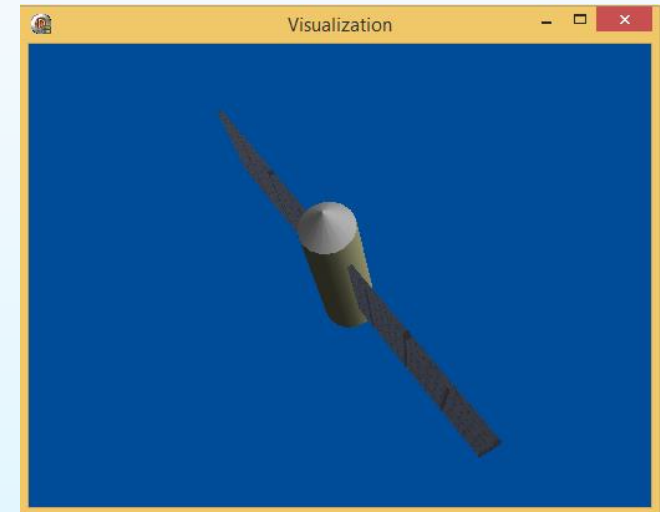


Рисунок 1 – 3D-модель летательного аппарата

Когнитивное представление состояния подсистем КА

$$\begin{cases} x = x_0 + \left(R + \overline{p_{ij}(t)}\right) \cos \psi - \overline{p_{ij}(t)} \cos(\psi(m + \eta)) \\ y = y_0 + \left(R + \overline{p_{ij}(t)}\right) \sin \psi - \left|\overline{p_{ij}(t)}\right| \sin(\psi(m + \eta)) \end{cases}, \quad \text{если } -r \leq \overline{p_{ij}(t)} \leq r$$

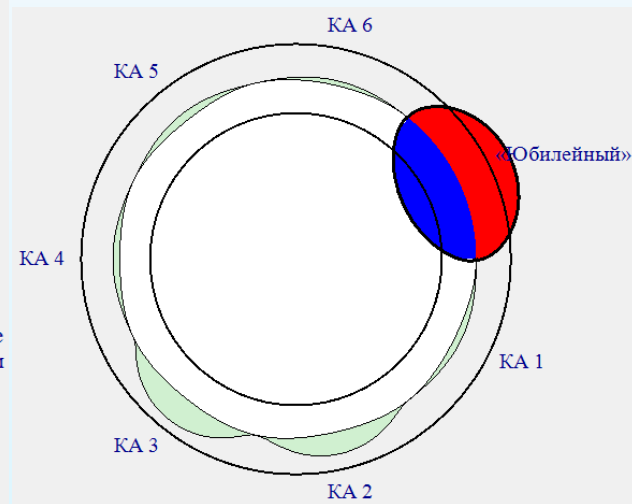
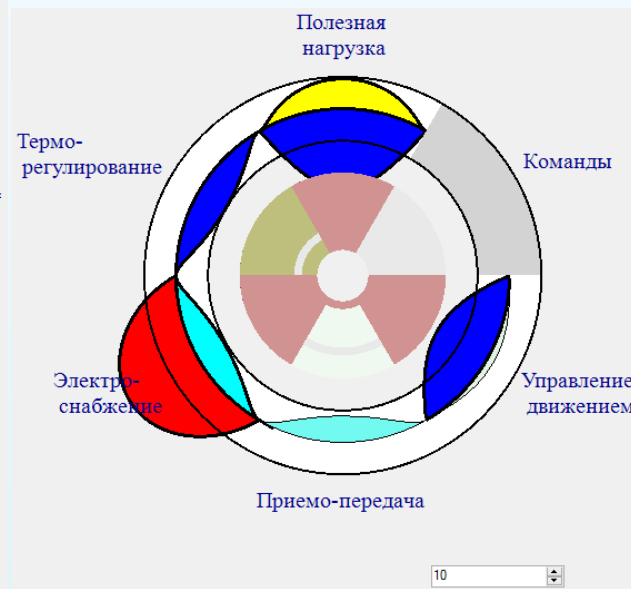
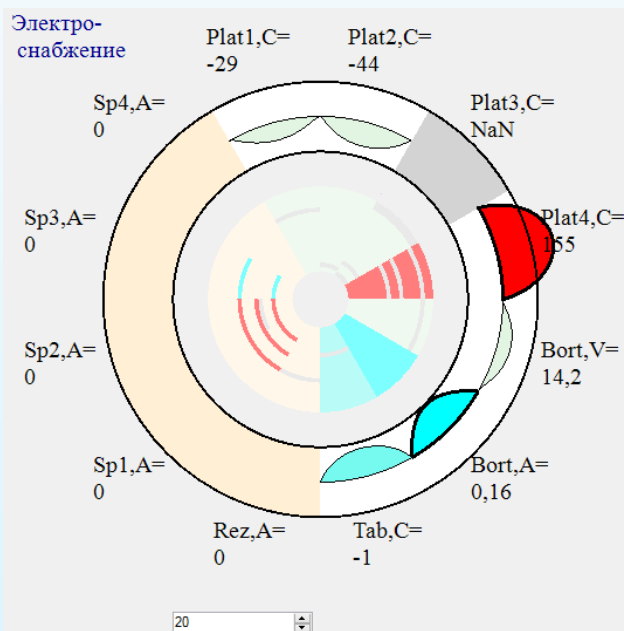
$$\begin{cases} x = x_0^e + a^e \cos \beta \cos \tau - b^e \sin \beta \sin \tau \\ y = y_0^e + a^e \cos \beta \sin \tau + b^e \sin \beta \cos \tau \end{cases}, \quad \text{если } \overline{p_{ij}(t)} > r$$

$$\begin{cases} x = x_0 + a^h \cosh \theta \cos \tau - b^h \sinh \theta \sin \tau \\ y = y_0 + a^h \cosh \theta \sin \tau + b^h \sinh \theta \cos \tau \end{cases}, \quad \text{если } \overline{p_{ij}(t)} < -r$$

где $\overline{p_{ij}(t)}$ – нормированное значение j -го параметра подсистемы с номером i в дискретный отчет времени t , R – радиус окружности, x_0 и y_0 – координаты центра окружности, m – количество параметров в i -ой подсистеме, $r = R/m$, $\psi \in [j\alpha, (j+1)\alpha]$, $\alpha = 2\pi/m$, $\tau = j\alpha + \alpha/2$ – угол поворота эллипса или гиперболы вокруг точки $O(x_0, y_0)$, $x_0^e = x_0 + R \cos(\alpha/2) \cos \tau$, $y_0^e = y_0 + R \cos(\alpha/2) \sin \tau$, $a^e = 2\overline{p_{ij}(t)} + R - R \cos \frac{\alpha}{2}$ – большая полуось эллипса, $b^e = R \sin \frac{\alpha}{2}$ – малая полуось эллипса, $a^h = R + 2\overline{p_{ij}(t)}$ – действительная полуось гиперболы,

$$b^h = \frac{a^h R \sin \frac{\alpha}{2}}{\sqrt{\left(R \cos \frac{\alpha}{2}\right)^2 - (a^h)^2}} \quad \text{– мнимая полуось гиперболы, } \theta \in [-2\pi, 2\pi], \quad \beta \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right],$$

$$\eta = \begin{cases} 1, & \text{если } \overline{p_{ij}(t)} > 0 \\ -1, & \text{если } \overline{p_{ij}(t)} < 0 \\ 0, & \text{если } \overline{p_{ij}(t)} = 0 \end{cases}.$$



а) отображение параметров, сгруппированных в подсистемы

б) когнитивный образ КА «Юбилейный»

в) когнитивный образ группировки КА

Рисунок 2 – Трехуровневая система универсальных когнитивных образов

Решения по созданию интеллектуального интерфейса для НС КИС

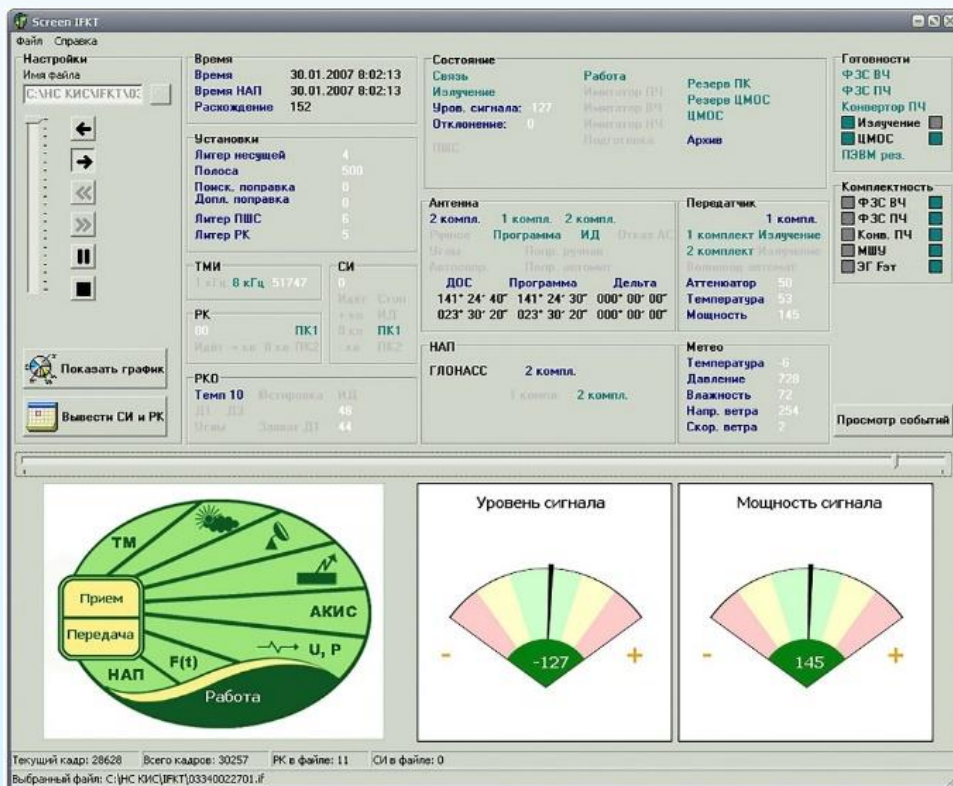


Рисунок 3 – Интерфейс НС КИС с когнитивным дополнением



Рисунок 4 – Визуализация аномального состояния по точности наведения АС

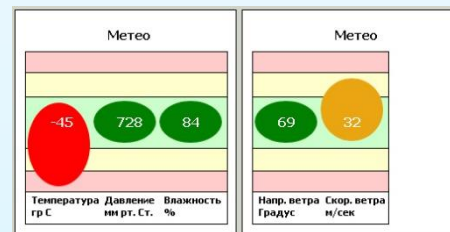


Рисунок 5 – Пример визуализации неблагоприятных метеоусловий



Рисунок 6 – Отображение работоспособности и состояния аппаратуры

К универсальному интерфейсу НС КИС подключается дополнительно когнитивная 3D-модель космического аппарата. Экспериментальное программное обеспечение, реализующее когнитивное дополнение, встроено и испытано в составе НС КИС.

Заключение

1. Выполнен анализ методов построения когнитивных графических дополнений к человеко-машинным интерфейсам для повышения эффективности работы операторов НС КИС.
2. Разработан и исследован метод когнитивно-графического представления временных последовательностей, для классификации и обнаружения шумов в радиотехнических сигналах.
3. Разработаны и исследованы новые многоуровневые когнитивные графические образы на основе циклоид и метода интегрального контурного представления, для визуализации динамической ситуации в КА и их коалициях.
4. Разработаны когнитивные компоненты для интерфейса оператора НС КИС на основе средств отображения 3D-модели КА.
5. Разработано, программно реализовано и внедрено ПО когнитивного интерфейса перспективной НС КИС.

Благодарю за внимание!