

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ

С.В. Ковальский, С.А. Зори

Донецкий национальный технический университет

В работе предложены способы визуализации комплексных частотно-временных характеристик сигналов источников радиоизлучений для повышения информативности процесса их мониторинга и распознавания.

1 Задача визуализации частотно-временных характеристик сигналов

В исследованиях разработчиков современных систем обнаружения и мониторинга радиоэлектронной обстановки проблема идентификации объектов радиоизлучений является очень актуальной и требует, в связи с этим, разработки специализированных информационных систем, которые бы работали в составе радиолокационных систем и комплексов (РЛК) и, используя информацию радиолокационных станций (РЛС), проводили визуализацию в реальном времени основных информативных комплексных параметров и характеристик сигналов источников радиоизлучений, а также идентификацию их типов на основе анализа имеющейся базы данных типовых характеристик известных источников [1]. Задача визуализации в реальном времени частотно-временных характеристик сигналов не является тривиальной - сложность реализации задачи определяется значительным количеством характеристик, требующих одновременной визуализации [2-7]. В работе предложены некоторые способы визуализации комплексных частотно-временных характеристик сигналов источников радиоизлучений для повышения информативности процесса их мониторинга и распознавания.

2 Способ визуализации в виде цветовой поверхности

Способ визуализации в виде цветовой поверхности предполагает представление частотно-временных распределений в виде сплошной трехмерной поверхности, на которую наложено поле цветности. При использовании данного способа в области визуализации выводится косоугольная проекция полученной поверхности на плоскость.

Поверхность строится следующим образом. На основе матрицы A значений амплитуды, находящихся в “окне” визуализации, рассчитываются матрица высот H и матрица цветов C . Элементы матрицы H рассчитываются как:

$$H_{ij} = f_H(O(A_{kl}))$$

где $i = \overline{0, N_H - 1}$ – номер строки в матрице H , N_H – количество строк в матрице H ;

$j = \overline{0, M_H - 1}$ – номер столбца в матрице H , M_H – количество столбцов в матрице H ;

$k = \text{целое}\left(i \cdot \frac{N_A}{N_H}\right)$ – номер строки в матрице A , N_A – количество строк в матрице A (временных срезов в “окне” визуализации);

$l = \text{целое}\left(j \cdot \frac{M_A}{M_H}\right)$ – номер столбца в матрице H , M_A – количество столбцов в матрице A (количество частотных отсчетов в каждом временном срезе);

$O(A_{kl}), A_{uv} \in O(A_{kl}) : u = \overline{k - R_U, k + R_U}, v = \overline{l - R_V, l + R_V}$ – множество элементов матрицы A , входящих в прямоугольную окрестность элемента A_{kl} размером $2 * R_U \times 2 * R_V$;

f_H – агрегатная функция, в качестве которой могут использоваться функции максимума, минимума и среднего арифметического.

Элементы матрицы C рассчитываются как:

$$C_{ij} = \sum_s T\left(\frac{f_{C_s}(O(A_{kl}))}{A_{\max}}, c_{\min_s}, c_{\max_s}\right)$$

где f_{C_s} – агрегатные функции, в качестве которых могут использоваться функции максимума, минимума и среднего арифметического;

A_{\max} – максимальная амплитуда сигнала;

T – функция, преобразующая число в диапазоне $[0;1]$ в цвет в диапазоне $[c_{\min_s}; c_{\max_s}]$.

Поверхность образуется множеством четырехугольников P_{ij} , $i = \overline{1, N_H - 1}$, $j = \overline{1, M_H - 1}$. Каждый четырехугольник P_{ij} в свою очередь образуется вершинами $P_{ij}^1, P_{ij}^2, P_{ij}^3, P_{ij}^4$:

$$P_{ij}^1 = (X_{i-1}, Y_{j-1}, H_{i-1, j-1})$$

$$P_{ij}^2 = (X_i, Y_{j-1}, H_{i, j-1})$$

$$P_{ij}^3 = (X_i, Y_j, H_{i, j})$$

$$P_{ij}^4 = (X_{i-1}, Y_j, H_{i-1, j})$$

где $X_i = t_{\max} \cdot \frac{i-1}{N_H - 2}$ – координата вершины по оси времени,

t_{\max} – размерность “окна” визуализации по времени;

$Y_j = F \cdot \frac{j-1}{M_H - 2}$ – координата вершины по оси частоты, F –

размерность “окна” визуализации по частоте;

На рисунке 1 представлена схема проецирования поверхности на экранную плоскость.

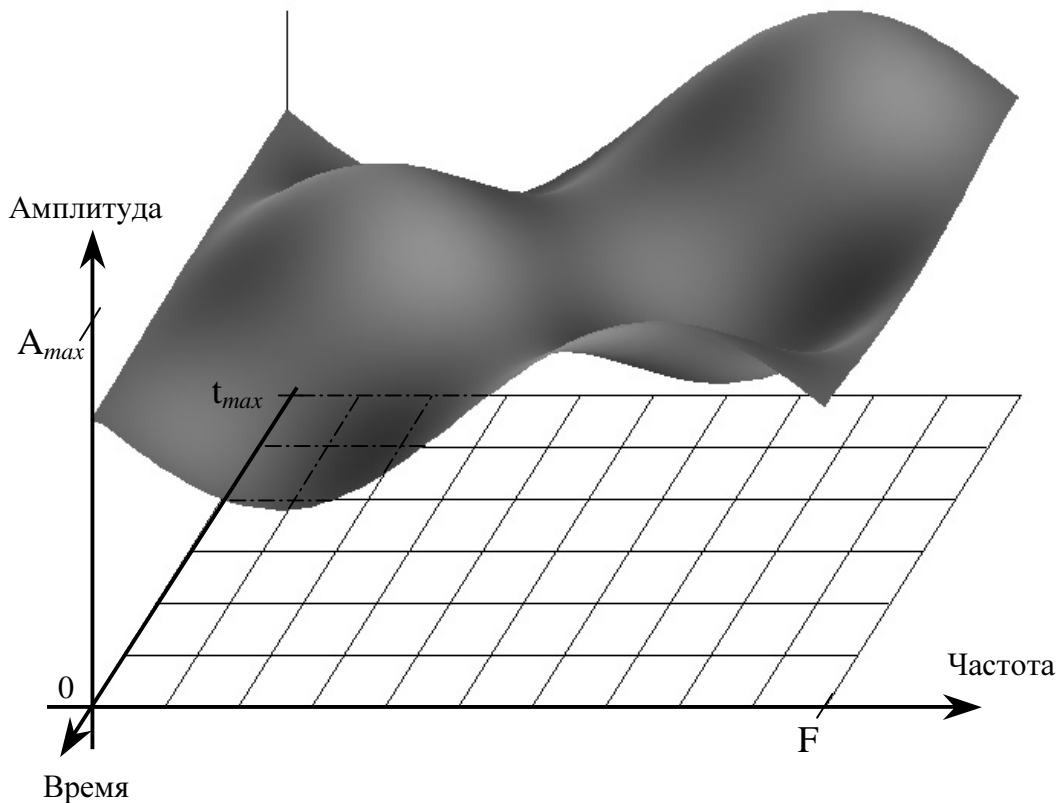


Рис. 1 Схема косоугольного проецирования поверхности на экранную плоскость

Четырехугольники P_{ij} визуализируются путем триангуляции. Вершины четырехугольников окрашиваются в цвета, являющиеся элементами матрицы S . При этом индексы элементов матрицы S соответствуют индексам элементов матрицы H , использованных при

формировании координат вершин. Цвета остальных точек, составляющих четырехугольники, рассчитываются путем интерполяции цветов вершин.

На рисунках 1 и 2 представлены результаты визуализации тестового сигнала S1. Вид сигнала S1 был подобран таким образом, чтобы значения агрегатных функций максимума и среднего арифметического значительно отличались при заданных значениях параметров R_U и R_V . При этом агрегатные функции имеют вид:

$$\max(O(S1(t, f))) = (\cos(t * period) + \cos(f * period) + 2) * A_{\max}$$

$$\text{avg}(O(S1(t, f))) = \left(\cos\left(t * \frac{period}{2}\right) + \cos\left(f * \frac{period}{2}\right) + 2 \right) * A_{\max}$$

где \max – агрегатная функция максимума;

avg – агрегатная функция среднего арифметического;

t – время;

f – частота;

$period$ – некоторая константа, определяющая периодичность сигнала S1

На рисунке 1 представлено изображение сигнала S1, полученное при использовании в качестве функции f_H агрегатной функции максимума ($f_H = \max$), а в качестве функций f_{C_s} – агрегатных функций максимума и среднего арифметического ($f_{C_1} = \max$, $f_{C_2} = \text{avg}$). При этом цветовые диапазоны определяются следующими значениями параметров: c_{\min_1} = черный, c_{\max_1} = красный, c_{\min_2} = черный, c_{\max_2} = зеленый. При таком наборе значений параметров красные области на поверхности соответствуют областям сигнала, в которых значения агрегатной функции максимума значительно превышают значения агрегатной функции среднего арифметического; желтые области соответствуют областям сигнала, в которых значения агрегатных функций максимума и среднего арифметического приблизительно равны. При построении изображения сигнала S1, представленного на рисунке 2, в качестве функции f_H была использована агрегатная функция среднего арифметического.

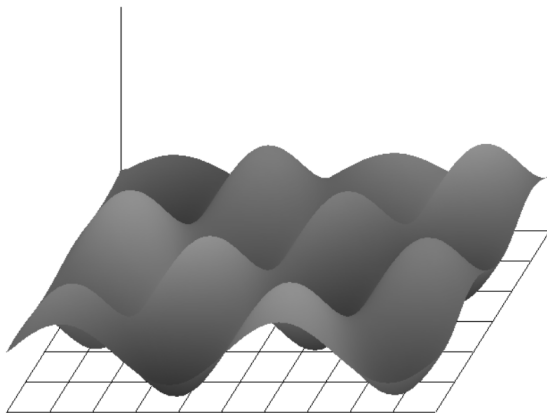


Рис. 2. Результаты визуализации сигнала S1 при $f_H = \text{avg}$

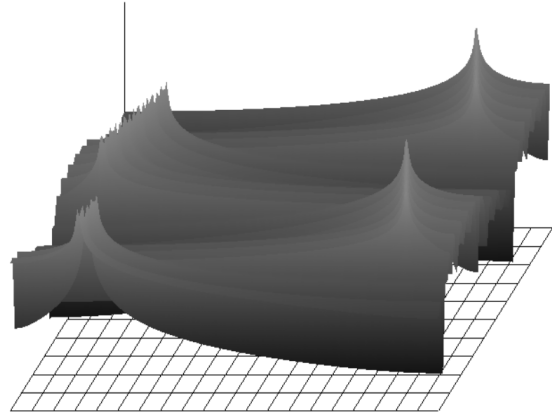


Рис. 3. Результаты визуализации реального сигнала S2

На рисунке 3 представлены результаты визуализации в виде цветовой поверхности реального сигнала S2.

3 Способ фронтальной визуализации

Способ фронтальной визуализации предполагает представление частотно-временных характеристик в виде ряда графиков в двухмерной системе координат, ось абсцисс в которой соответствует измерению частоты, а ось ординат – амплитуде.

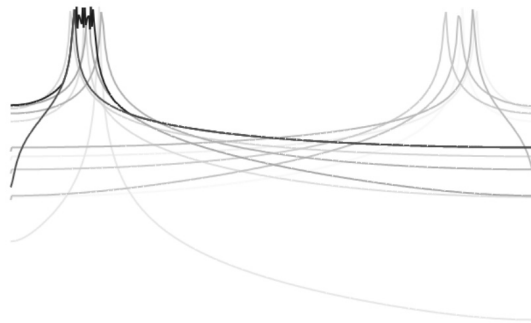


Рис. 4. Результаты фронтальной визуализации сигнала S2

На рисунке 4 представлено окно системы в режиме фронтальной визуализации реального сигнала S2.

В данном режиме на первом плане отображается график зависимости амплитуды от частоты, соответствующий текущему срезу частотных характеристик сигнала (на рисунке 4 – красного

цвета). На втором плане выводится график функции $a^{\max}(f)$ (на рисунке 4 – синего цвета), которая определена следующим образом:

$$a^{\max}(f) = \max_{t \in [t_h, 0]} (a(f, t))$$

где f – частота;

t – время;

$a(f, t)$ – сигнал;

t_h – момент времени в прошлом

Таким образом, функция $a^{\max}(f)$ возвращает для заданной частоты максимальную амплитуду сигнала среди последовательности заданного размера срезов частотных характеристик, последний из которых является текущим.

На третьем плане выводится ряд графиков зависимостей амплитуды от частоты, соответствующих ряду срезов частотных характеристик сигнала, непосредственно предшествовавших текущему. Размер ряда задается соответствующим параметром. Также, параметрами задаются цвета графиков первого и последнего срезов ряда. Цвета графиков остальных срезов рассчитываются путем интерполяции данных цветов. При визуализации (рис. 4) использован эффект постепенного “растворения” графиков в фоне с течением времени (от самого нового к наиболее старому).

На рисунке 5 приведены результаты визуализации реального сигнала S3 при $t_h \neq 0$, на рисунке 6 – при $t_h = 0$.

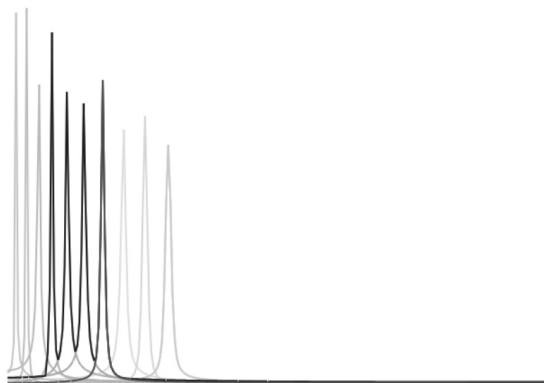


Рис. 5. Результаты фронтальной визуализации реального сигнала S3 при $t_h \neq 0$

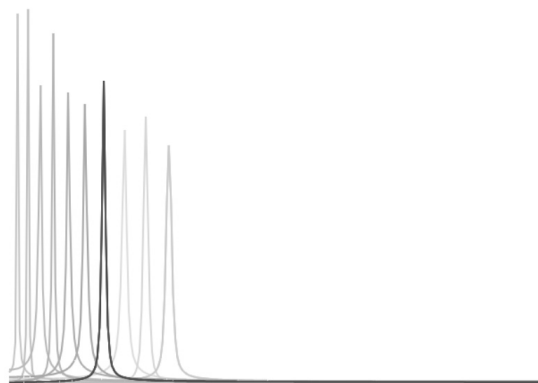


Рис. 7. Результаты фронтальной визуализации реального сигнала S3 при $t_h = 0$

Заключение

Режим визуализации сигнала в виде цветовой поверхности объединяет преимущества описанных в [1] режимов геометрической визуализации и визуализации в виде поля цветности. Также как режим геометрической визуализации, данный режим наглядно представляет общую форму сигнала, и также как режим визуализации в виде поля цветности, позволяет обнаружить незначительные по протяженности во времени и в частотном измерении части сигнала, отклоняющиеся от общей его формы.

Преимуществом режима фронтальной визуализации является возможность подробного сравнительного анализа ряда последовательных срезов частотных характеристик.

Таким образом, представленные способы визуализации могут успешно дополнять друг друга при построении специализированных информационных систем.

Литература

1. Рябкин Ю.В. Программная система визуализации частотно-временных характеристик сигналов радиолокационных станций /Донбас-2020: наука і техніка – виробництву: Матеріали III науково-практичної конференції. м. Донецьк, 30-31 травня 2006 р. - Донецьк, ДонНТУ Міністерства освіти і науки, 2006.- с. 505-512.
2. Зенков А.И. Реализация модульного подхода при построении унифицированной системы научной визуализации.- Сборник трудов научной международной конференции по компьютерной графике и анимации “Графикон-2002”, г. Нижний Новгород, 2002.
3. Dos Santos S., Brodli K. Gaining understanding of multivariate and multidimensional data through visualization.- Computers & Graphics, 2004 Vol. 28.- p.311...325
4. Ли В.Г., Сапрунов В.Н., Сидоров А.Н. Экспериментальный компьютерный стенд исследования деятельности человека-оператора. Известия ТРТУ № 5 (60), 2006.- с. 13-19
5. Баяковский Ю.М., Томилин А.Н. Моделирование сложных систем и виртуальная реальность. // Вопросы кибернетики. РАН, 1995.
6. Носов Н.А. Виртуальная психология. - М.: Аграф, 2000.
7. Отображение информации в Центре управления космическими полетами / А.В.Милицин, В.К.Самсонов, В.А.Ходак, И.И.Литвак.- М.: Радио и связь, 1982.- 192 с., ил.

Получено 29.05.09