

Соловьев С.Н.
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет «ЛЭТИ»

Разработка и исследование алгоритма приёма пакетного сигнала с использованием семиэлементной антенной решётки

Разработан и представлен алгоритм обработки сигналов, принятых на семиэлементную антенную решётку со спутников телекоммуникационной системы IRIDIUM. Особенность обработки заключается в использовании сигналов, принятых с каждого элемента антенны. Практические результаты представлены для пятисекундной записи отсчётов комплексной огибающей.

Ключевые слова: Антенная решётка, обработка сигналов, телекоммуникационная система Iridium.

Система Иридиум была создана компанией Motorola, Inc. в 1989 году в качестве оператора телефонной связи, которая охватывает 100% нашей планеты. Планировалось, что система будет включать в себя 77 спутников, но на данный момент используется 66 основных и 6 резервных спутников на орбите высотой 780 км. Они расположены на шести приполярных орбитах, наклонение которых составляет 86,4 град., т.е. по 11 спутников в каждой плоскости.

Сигналы L диапазона, а именно 1616 ... 1626,5 МГц, принимаются на антенную решётку (АР), состоящую из семи элементов (рис.1). Ширина диаграммы направленности (ДН) каждого лепестка равна 60 градусов, что обеспечивает общий обзор на 180 градусов. Коэффициент усиления в каждом луче 8 дБ, поляризация круговая.

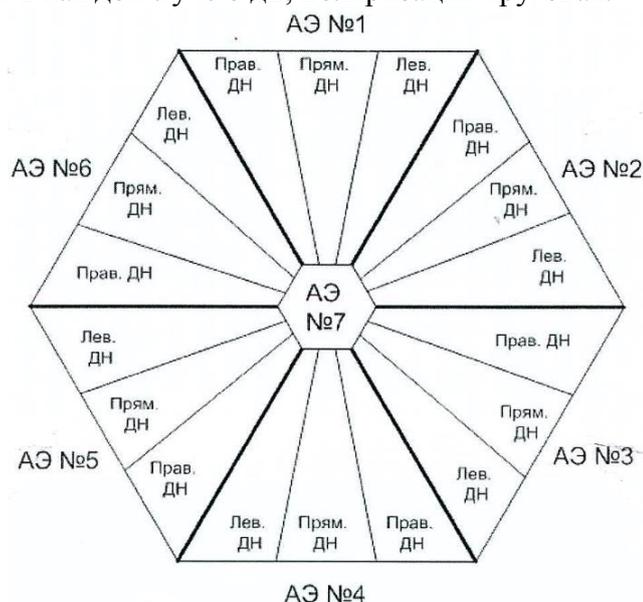


Рис.1. Многолучевая антенная решётка.

На выходе AP будет 7 одинаковых сигналов со своим отношением сигнал/шум (ОСШ) в зависимости от расположения спутника в пространстве.

Пример записи принятых сигналов представлен на рисунке 2. Для выделения сигнальных пакетов в автоматизированном режиме формируется окно размера f_{\min} , f_{\max} (минимальная и максимальная граница частот) по частоте и t_{\min} , t_{\max} (минимальная и максимальная граница времени) по времени.

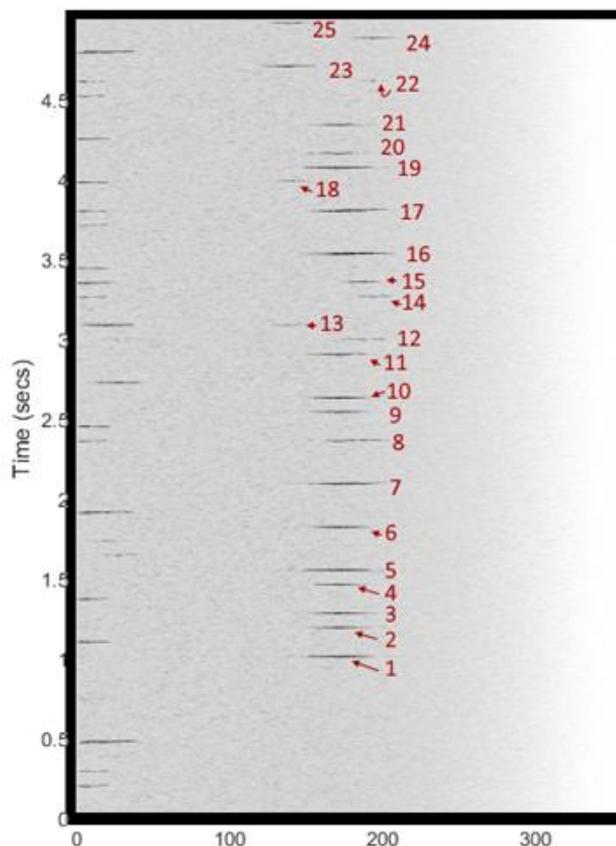


Рис.2. Спектрограмма записи с 7 элемента AP

Для обработки выделенных информационных пакетов необходимо провести процедуру «выбеливания» сигналов, принятых с каждого элемента AP, и синфазно сложить их с учётом весовых коэффициентов. Весовые коэффициенты выбираются из соображений оптимальной фильтрации, т.е. численно равными собственным ОСШ, которое оценивается как отношение среднеквадратичных значений сигнала и шума.

Фазы сигналов рассчитываются относительно сигнала, имеющего наибольшее значение сигнал/шум ($S_{max}(t)$). Максимальный сигнал можно выразить через задержанный как:

$$S_{max}(t) = a * S_k(t) * e^{-j\varphi_k}, k=1, \dots, 7; \quad (1)$$

$$|S_{max}| = a * |S_k|, \quad (2)$$

где k - номер сигнала $S_{max}(t)$ – сигнал с наибольшим ОСШ, $S_k(t)$ – k -ый сигнал, φ_k – фаза сигнала.

Коэффициент корреляции между сигналами $S_{max}(t)$ и $S_k(t)$ равен:

$$r_{max,k} = \frac{\sum S_{max}(t) * S_k^*(t)}{\sqrt{E_{max} * E_k}} \quad (3)$$

Исходя из выражений 1, 2 и 3 можно получить, что:

$$r_{max,k} = e^{-j\varphi_k},$$

откуда следует, что фазовой поправкой будут являться коэффициенты корреляции между S_{max} и сигналами, принятыми на другие элементы АР.

Итоговая структурная схема работы алгоритма представлена на рисунке 3, где добавлен коэффициент равный «1/ш», суть которого заключается в «выбеливании» шума, т.е. приведении статистических характеристик принятого шума к белому.

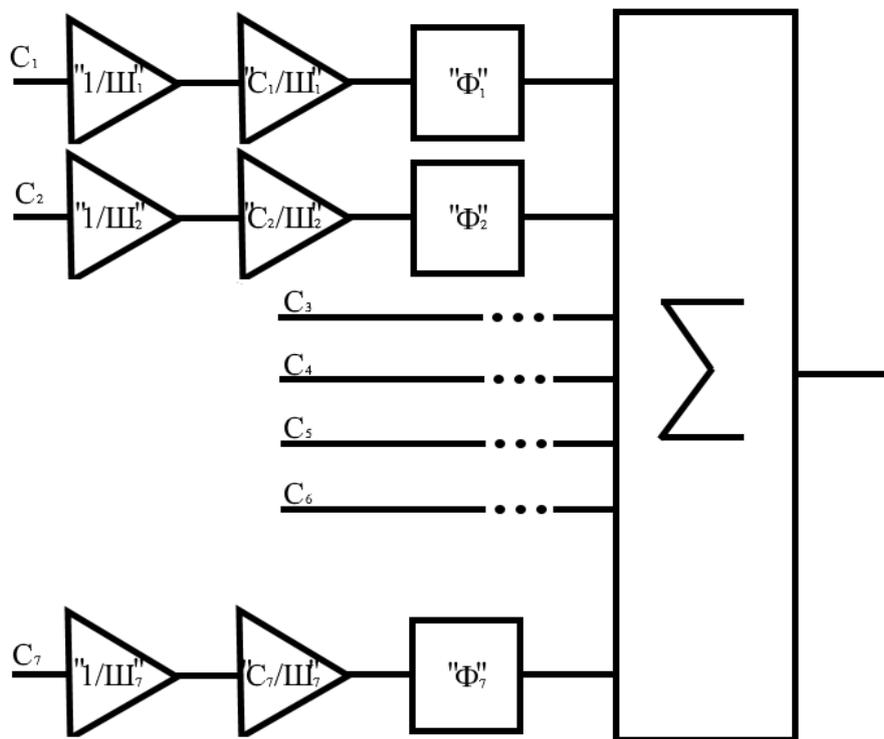


Рис.3. Структурная схема алгоритма обработки сигнала.

После выбора сигнальных пакетов (рис.2), получаем комплексную огибающую пакетов. Сигналы, с 23 пакета (рис.2), полученные с каждого элемента АР, представлены на рисунке 4.

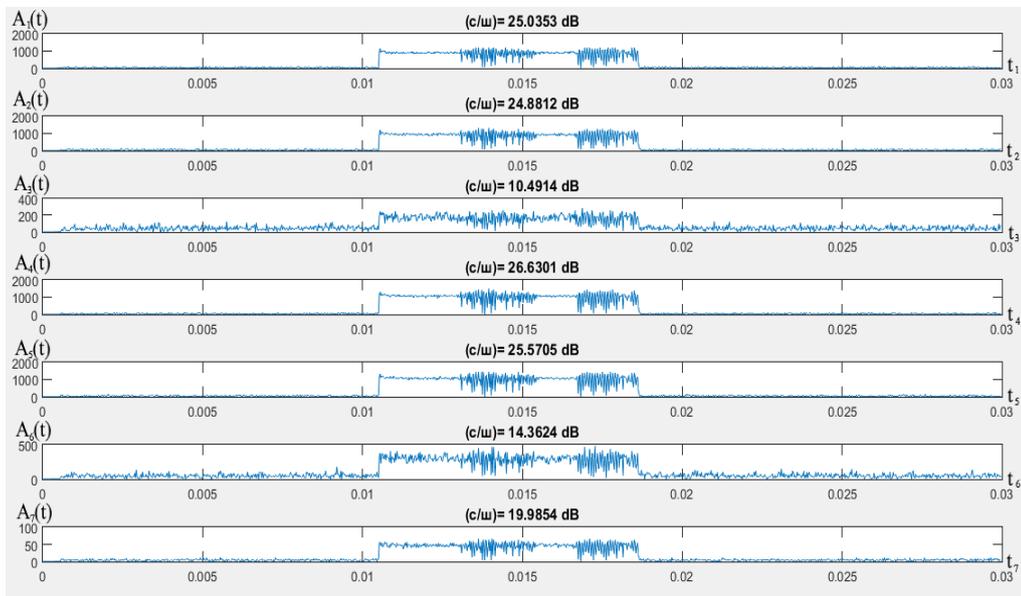


Рис.4. Сигналы в выделенных пакетах с каждого элемента АР.

В данном случае для обработки за $S_{max}(t)$ будет принят сигнал с 4 элемента АР (рис.4), имеющий наибольшее ОСШ и равное 26.6301 dB.

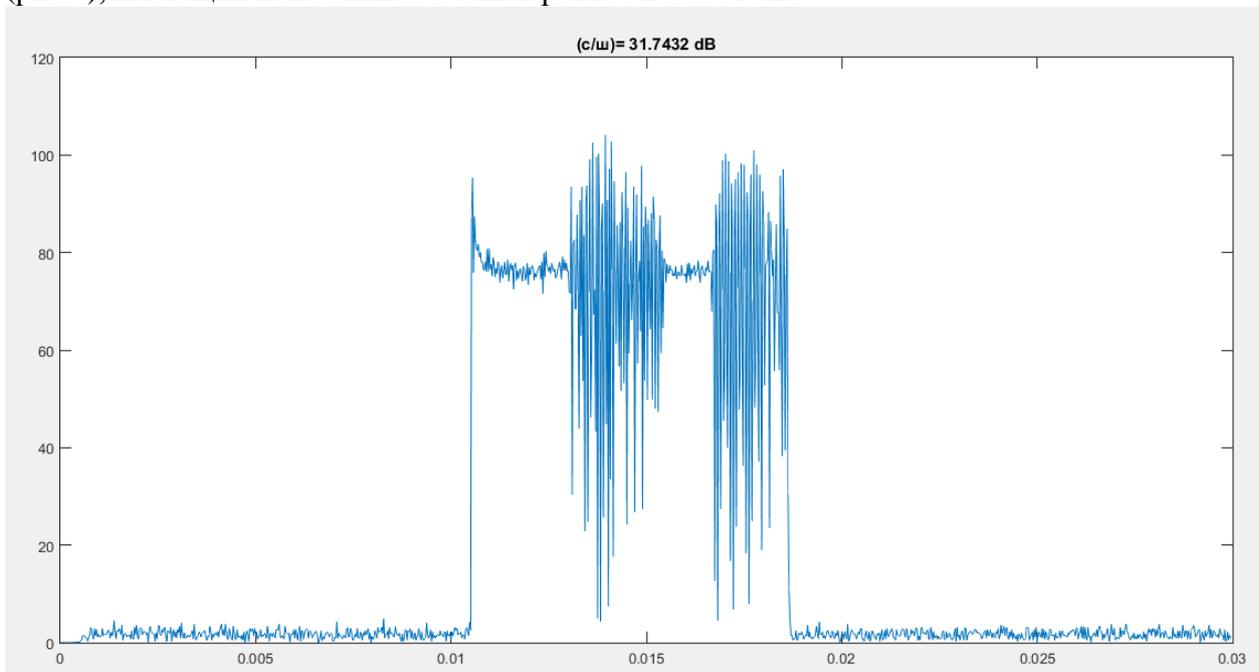


Рис.5. Сигнал, полученный в результате обработки

Все полученные на практике результаты были сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

№ пакета	Максимальное значение (с/ш) [dB]	(с/ш) после обработки [dB]	Выигрыш [dB]
1	34.0325	34.9819	0.9493
2	20.9053	22.4130	1.5076
3	22.1411	23.3487	1.2076
4	18.0733	19.6280	1.5547
5	31.7796	33.3022	1.5227
6	27.0125	28.4561	1.4436
8	18.1346	19.2967	1.1622
9	19.4854	21.1693	1.6838

10	25.2927	26.8871	1.5944
11	22.4677	24.0461	1.5784
12	20.4016	21.5759	1.1743
13	18.5180	22.4541	3.9361
14	15.6251	20.2214	4.5963
15	25.1447	25.8100	0.6653
16	37.6677	39.2143	1.5466
18	19.8743	20.6279	0.7537
19	31.0384	32.2893	1.2510
20	15.3892	17.4646	2.0753
21	15.6037	17.4958	1.8921
22	7.7084	11.3923	3.6839
23	26.8026	31.9015	5.0990
24	24.2825	28.5673	4.2848
25	17.4529	21.6114	4.1585

Из полученных результатов видно, что максимально полученный выигрыш равен 5.099 dB. Он зависит от амплитуд принятых сигналов, т.е. если на одном из элементов АР был принят сигнал, имеющий амплитуду в несколько раз больше, чем на других элементах, то после обработки значение ОСШ практически не изменится, т.е. выигрыш будет слабым.

Также к алгоритму необходимо будет добавить обнаружение и различение перекрывающихся сигналов, чтобы разделить сигналы с одного и с другого спутника, которые ретранслировали сигналы на близких частотах.

Данный алгоритм формирует ДН антенны в направлении спутника, что позволяет сопровождать его.

Библиографический список

1. Радиотехнические системы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника»/Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов и др.; Под ред. Ю. М. Казаринова. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.: ил.
2. Описание спутниковой системы Иридиум [Электронный ресурс]; SatcomDV 2012. URL: http://www.satcomdv.ru/informaciya_o_sistemah_sputnikovoj_sa/iridium/iridium/ (дата обращения: 21.12.2016)