

Исследование сложных радиосигналов с фазовой и частотной модуляцией для РСА космического базирования

Т.С. Илларионова

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, 602264 г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23, E-mail:illarionova_tatyana_2010@mail.ru

Проанализированы основные направления развития РЛС космического базирования. Приводятся результаты моделирования сложного широкополосного сигнала с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) и фазокодированного (ФКМ) сигнала. В ходе экспериментов были протестированы ЛЧМ и ФКМ сигналы.

Analyzed the main directions of development of space-based synthetic aperture radar (SAR). Provides simulation of complex broadband signal with linear frequency modulation and phase-modulated signal. The experiments have been tested chirp and PCM signals.

Практика получения изображений поверхности Земли из космоса насчитывает чуть более полувека. Первый снимок земной поверхности был получен при помощи фотоаппарата, установленного на баллистической ракете Fau-2 немецкого производства, запущенной в 1945 г. с американского ракетного полигона White Sands. Ракета достигла высоты 120 км, после чего фотоаппарат с отснятой пленкой был возвращен на Землю в специальной капсуле. До конца 50-х годов космическая съемка поверхности Земли осуществлялась с высот до 200 км исключительно с использованием аппаратуры, устанавливаемой на баллистических ракетах и зондах. Началом систематического обзора поверхности Земли из космоса можно считать запуск 1 апреля 1960 г. американского метеорологического спутника Tiros-1. Первый отечественный ИСЗ аналогичного назначения, «Космос-122», был выведен на орбиту 25 июня 1966 года [1].

С тех пор область применения данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса существенно увеличилась. В настоящее время благодаря методологии сбора информации о состоянии определенной территории появилась возможность прогнозирования природных катаклизмов, благодаря чему можно своевременно принять управленческие меры по разрешению возникнувших чрезвычайных ситуаций.

При этом информация ДЗЗ позволяет быстро оценивать достоверность информации и, в случае необходимости, произвести повторный анализ местности.

В течение многих лет основными датчиками, благодаря которым можно было получить изображения местности, были датчики оптического диапазона, не требующие дальнейшей обработки. Но возможности датчиков были ограничены из-за освещенности просматриваемой территории, и сегодня все больше внимание уделяется датчикам СВЧ-диапазона, работающих на больших частотах. В связи с этим на борту космического аппарата могут быть установлены как пассивные системы, принимающие излучение от находящихся на земле объектов, так и активные радиолокационные системы. Более высокие результаты можно получить при использовании РЛС с синтезированием апертуры.

Радиолокационные станции с синтезированной апертурой (РСА) работают в импульсном режиме, осуществляют обзор поверхности боковым лучом за счет перемещения РЛС, имеют фоторегистрирующее устройство, которое построчно записывает выходные сигналы.

По сравнению с другими радиолокационными станциями РСА обладают двумя уникальными свойствами: 1) предельное линейное разрешение вдоль пути $\Delta X = d_x/2$ и перпендикулярное ему $\Delta Y = ct_u/2 \cos \beta$ не зависят от расстояния и длины волны, где β – угол скольжения, отсчитываемый от горизонтальной плоскости; 2) изображение формируется в координатах время – доплеровская частота, не связанных с ориентацией раскрыва бортовой антенны [2].

Использование сложных сигналов в радиолокации обеспечивает высокую разрешающую способность по дальности и по скорости, так же позволяет существенно повысить информативность радиосистем. Чаще всего используются ЛЧМ сигналы, в редких случаях фазокодированные сигналы (ФКМ).

Фазокодированные сигналы состоят из последовательностей импульсов одинаковой формы, следующих друг за другом с интервалом τ_0 . Импульсы в свою очередь могут отличаться амплитудами и начальными фазами.

Достоинства ФКМ сигнала заключаются в том, что:

- сигналы имеют идеальную форму корреляционной функции с минимальной площадью эллипса неопределенности;
- схемы формирования и генерирования длинных сигналов с ФКМ в большинстве случаев оказываются более простыми, чем при использовании ЛЧМ.

ФКМ сигнал задается следующей формулой:

$$U(t) = \begin{cases} \sum_n A_0 \exp[j(\omega_0 t + \theta_n)] & 0 \leq t \leq T, \\ 0, & t < 0, t > T, \end{cases} \quad (1)$$

где A_0, ω_0 – постоянные параметры сигнала;

θ_n – закон изменения фазы.

Сигнал с линейной частотной модуляцией был первым сложным сигналом, примененным в радиолокации [3].

Достоинства ЛЧМ сигнала заключается в следующем:

- ограничение по максимальной длительности формируемого ЛЧМ сигнала практически отсутствует;
- существует возможность гибкого изменения параметров ЛЧМ сигнала в широких пределах по командам от ЭВМ;
- обеспечивается достаточно высокая стабильность частоты и параметров частотной модуляции.

ЛЧМ сигнал описывается следующей формулой:

$$s(t) = \exp\left(j2\pi b\left(t - \frac{\tau_i}{2}\right)^2\right), \quad (2)$$

где b – отношение разности мгновенных частот в начале и конце импульса.

Проведем моделирование ЛЧМ и ФКМ сигналов в пакете Dev-C++.

При моделировании ФКМ сигнала было проведено несколько экспериментов. Для анализа эксперимента использовалось несколько значения базы сигнала, т. е. $B = 62, 93, 155, 186$ и т.д. Относительную частоту Доплера возьмем равной 0,075.

Проанализировав полученные результаты видно, что на протяжении B [62; 511] наблюдается уменьшение уровня боковых лепестков (УБЛ), т.е. УБЛ изменяется в пределах от $-10,72$ дБ до $-27,24$ дБ.

На рисунках 1 и 2 представлены АКФ для сигналов с М-последовательностями для значений баз $B = 62$ и $B = 511$. A – на графиках обозначен уровень АКФ в децибелах относительно максимального значения, B – база сигнала.

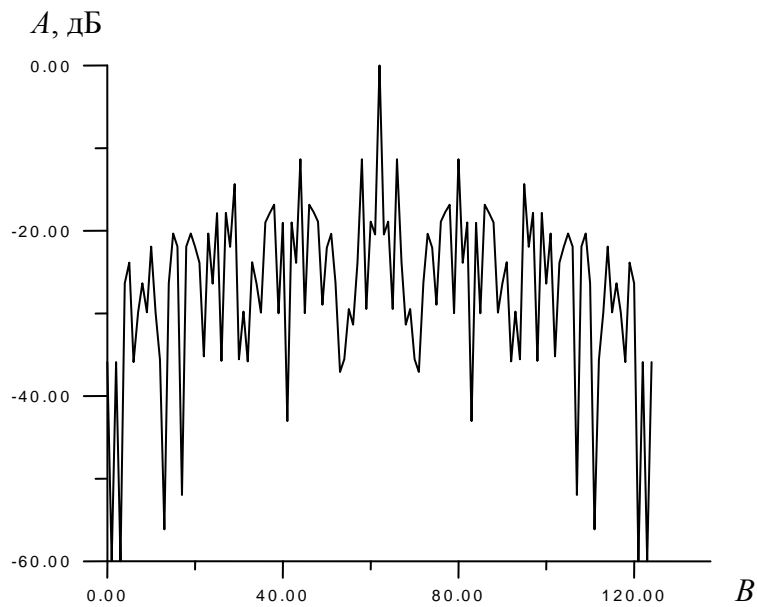


Рис. 1.

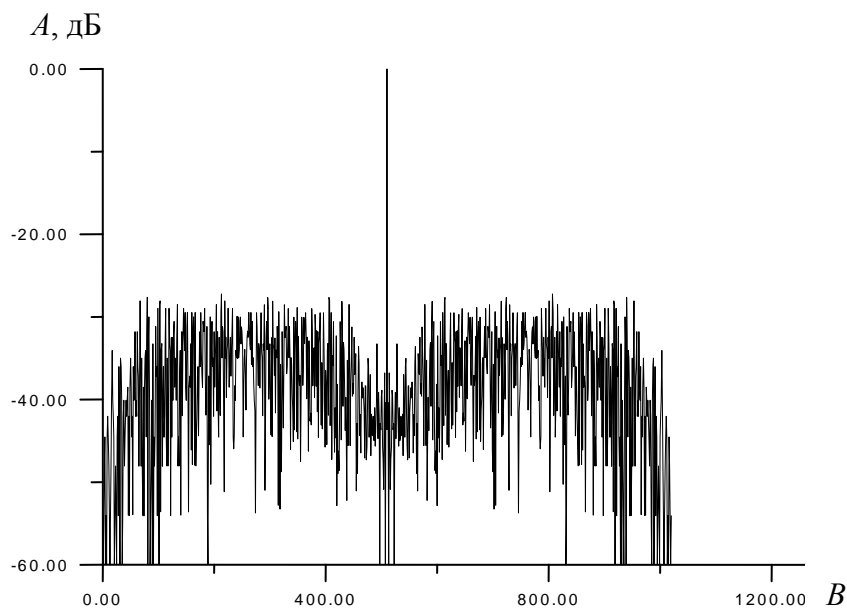


Рис. 2.

При моделировании ЛЧМ сигнала проводились аналогичные манипуляции, как и с ФКМ. База сигнала выбиралась в пределах от 62 до 511, частоту Доплера оставим прежней, т.е. 0,075, чтобы в дальнейшем сравнить уровень УБЛ сжатых ФКМ и ЛЧМ сигналов.

Во время эксперимента было выявлено, что уровень боковых лепестков в ЛЧМ сигнале в несколько раз меньше, чем УБЛ ФКМ сигнала. Так при базе сигнала равной 62, уровень боковых лепестков равен – 23 дБ, при $B=511$ УБЛ= – 32,3 дБ. Увеличение базы сигнала приводит к уменьшению УБЛ, как и в случае с ФКМ. При построении графиков наблюдается асимметрия главного лепестка, связанная с частотой Доплера.

Проиллюстрируем полученные результаты. На рис. 3 и 4 отображены АКФ для ЛЧМ сигналов при базах $B=62$ и $B=511$.

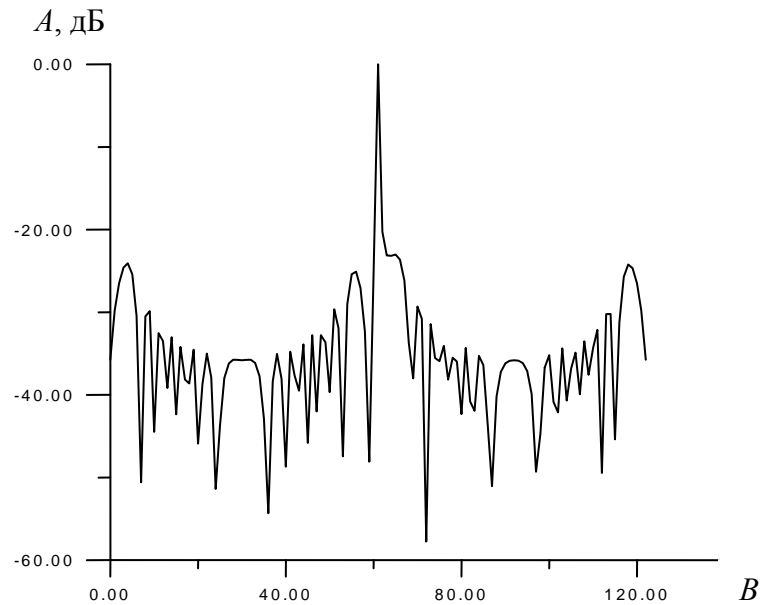


Рис. 3.

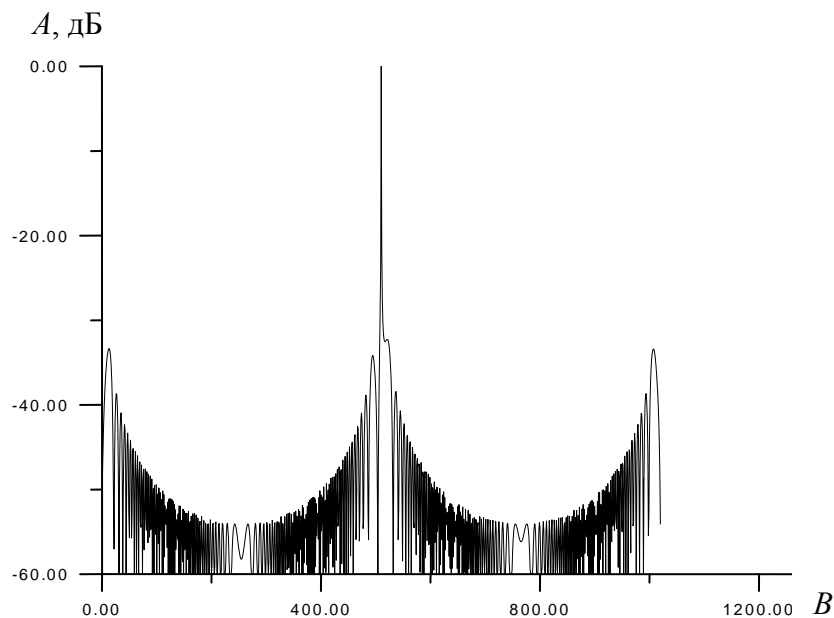


Рис. 4.

Результаты, полученные в ходе эксперимента, показали, что с точки зрения УБЛ при минимально возможной частоте дискретизации в рассматриваемом диапазоне

частот ЛЧМ сигнал лучше, чем ФКМ сигнал. Кроме того, следует заметить, что частота дискретизации ЛЧМ сигналов в 2 раза ниже, чем частота дискретизации ФКМ сигнала, которая требуется для обработки при одинаковой ширине спектра сигналов. Поэтому требования к АЦП и процессорам ЦОС в случае использования ЛЧМ сигналов могут быть снижены.

Использование сложного зондирующего сигнала в РСА дает возможность разделить по кодовому признаку эхо-сигналы из интервалов неоднозначности, тем самым улучшить качество изображения (РЛИ). При этом за счет смены кода обеспечивается ослабление или подавление помехи, возникающей из-за наложения сигналов. Действительно, если в процессе обзора осуществлять от импульса к импульсу смену закона внутриимпульсной модуляции, то помеха будет поступать на фильтр сжатия, согласованный с другим сигналом, что приводит к снижению ее уровня. Коэффициент подавления помехи рассчитывался по соотношению $k_p = 20 \cdot \lg(|U_s|/|U_p|)$, где $|U_s|$, $|U_p|$ – максимальные значения модуля сигнала на выходе устройства обработки при приеме эхо-сигналов текущего зондирования (оптимальный прием) и предшествующего зондирования (несогласованная обработка) соответственно.

Если в зондирующем сигнале используется ЛЧМ, то смена от импульса к импульсу угла наклона ЧМ может рассматриваться как простейший вид кодирования. Наибольший эффект в этом случае наблюдается при противоположных знаках скорости изменения частоты, при этом уровень сигнала при несовпадающих законах модуляции на 19...22 дБ ниже максимального уровня сжатого сигнала при оптимальном приеме.

Использование для подавления помехи наложения смены закона нелинейной ЧМ не дает ощутимых преимуществ перед сигналом с ЛЧМ. Для типичных сигналов с нелинейной ЧМ (V-образная ЧМ, квадратичная симметричная и несимметричная ЧМ) значения коэффициента подавления помехи приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения коэффициента подавления при различных базах

Закон ЧМ	$B = 50$	$B = 100$	$B = 200$	$B = 300$
Линейный	17,5 дБ	20,5 дБ	22,5 дБ	25,3 дБ
Квадратичный симметричный	13,7 дБ	17,9 дБ	18,5 дБ	19,4 дБ
Квадратичный несимметричный	17,8 дБ	19 дБ	22 дБ	23,6 дБ
V-образный	11,8 дБ	11 дБ	11 дБ	11 дБ

Сравнение полученных данных показывает, что примерно одинаковой способностью к подавлению помехи обладают сигналы с линейной и несимметричной квадратичной ЧМ. Несколько уступает им по качеству подавления помехи сигнал с симметричной квадратичной ЧМ. И, наконец, наихудшими показателями обладает сигнал с V-образной ЧМ, причем относительный уровень помехи практически не зависит от значения базы сигнала. Как показывает анализ, чередование в сигнале при зондировании линейных и нелинейных законов ЧМ, а также смена вида сложного сигнала (ЛЧМ-ФКМ, ФКМ-ЛЧМ) с точки зрения устранения неоднозначности и подавления помехи наложения преимуществ не имеет.

Литература

1. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Издательство А и Б, 1997. – 296 с.

2. Радиолокационные методы исследования Земли / Ю.А. Мельник, С.Г. Зубкович, В.Д. Степаненко и др.; Под ред. Ю.А. Мельника. – М.: Советское радио, 1980. – 264 с.
3. Ширман Я.Д., Голиков В.Н. Теоретические основы теории обнаружения радиолокационных сигналов и измерения их параметров. – М: Советское радио, 1963. – 278 с.