

Предисловие

В настоящее время без глобальных спутниковых радионавигационных систем (ГНСС) не представляется возможным полноценное функционирование многих устройств и техники, используемой в человеческой деятельности. С каждым годом как специалисты в области навигации, профессиональные работники, так и обычные пользователи постоянно предъявляют большие требования к получаемым по ГНСС характеристикам: точности, надежности, доступности, непрерывности, а также безопасности использования систем. Это приводит к тому, что необходимо регулярно пересматривать основу работы всех сегментов ГНСС.

Российская ГЛОНАСС, а также зарубежные глобальные GPS, GALILEO, Beidou и иные территориальные навигационные системы постоянно развиваются. Во-первых, за счет лучшего размещения источников радионавигационного поля, в том числе модернизации орбитальной группировки навигационных космических аппаратов (НКА). Во-вторых, благодаря дополнительному применению новых сигналов, излучаемых с борта НКА. В-третьих, за счет совершенствования применяемой навигационной аппаратуры потребителя (НАП). В-четвертых, посредством более доступного использования информационных ресурсов, лежащих в основе систем функциональных дополнений.

Наряду с развитием ГНСС необходима дополнительная подготовка специалистов в этой области. С одной стороны, это прежде всего вызвано тем, что сфера применения ГНСС оборудования постепенно расширяется. С другой — в ряде случаев существующие НАП ГНСС комплексированы с иными системами, в том числе инерциальными, и, таким образом, интегрированные существующие навигационные системы требуют доработки.

В учебном пособии подняты вопросы и предложены к решению соответствующие задачи, решаемые преимущественно в абсолютном режиме местоопределения:

- формирование и получение характеристик псевдошумовых сигналов с различным принципом разделения сигналов;

- определение координат НКА по оперативной (эфмеридам) и неоперативной (альманаху) бортовой информации;
- решение навигационной задачи;
- расчет угла возвышения НКА;
- оценка взаимного расположения НКА и НАП (геометрического фактора);
- определение траектории подспутниковой точки НКА;
- оценка координаты, скорости и ускорения процесса на заданный момент времени (в том числе при подключении акселерометра), осуществляемая при помощи калмановского фильтра.

Учебное пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 24.03.02 — «Системы управления движением и навигация» и специальностям: 24.05.01 — «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов», 24.05.06 — «Системы управления летательными аппаратами», 24.05.05.С5 — «Приборы и измерительно-вычислительные комплексы ЛА», 11.05.01 — «Радиоэлектронные системы и комплексы», будет полезно аспирантам и специалистам в области радионавигации.

1 Псевдошумовые сигналы

1.1. Формирование псевдошумовых сигналов и их свойства

Псевдошумовые сигналы (ПШС) применяются в радиосистемах различного функционального назначения. В частности, они используются как запросные сигналы в системах измерения дальности, как сигналы синхронизации в системах передачи информации, а также для кодирования сообщений, когда нужно обеспечить высокую помехоустойчивость передачи информации [1].

ПШС представляют собой совокупность упорядоченных элементарных сигналов, которые могут чередоваться по времени и передаваться на разных частотах [1]. При длительности элементарного сигнала τ ширина его спектра $F \approx 1/\tau \approx 1$. Тогда совокупность M элементарных сигналов при $M \gg 1$ будет иметь базу — произведение длительности на ширину спектра $B = M\tau F = M \gg 1$. Рассматриваются двоичные ПШС, которые образуются последовательностями элементарных двоичных символов (импульсов) на одной и той же частоте.

При измерении дальности в ГНСС возникает задача измерения момента времени прихода сигнала. Сигнал наблюдается на фоне шумов, поэтому нужно сравнивать принятый сигнал с имеющимися на приемной стороне его образцами, отличающимися возможным сдвигом по времени, а в качестве сценки момента времени прихода сигнала брать значение временного сдвига того образца, с которым принятый сигнал имеет максимальное сходство. По этому правилу работает оптимальный измеритель, обеспечивающий наивысшую достижимую точность определения задержки времени прихода сигнала, принимаемого на фоне шумов. Чтобы реализовать оптимальный измеритель, нужно, очевидно, использовать сигналы, для которых легко устанавливается сходство с нужным образцом и различие с другими образцами в условиях действий мешающего такому сравнению шума. Этому требованию удовлетворяют псевдошумовые сигналы.

ПШС в некоторых ГНСС применяются также для разделения канальных сигналов (разделение каналов по форме). В настоящий момент к таким относятся сигналы всех частотных диапазонов ГНСС GPS, Beidou, Galileo, а также сигналы диапазонов L1 и L2 ГЛОНАСС.

В основе псевдослучайных сигналов лежат так называемые псевдослучайные двоичные последовательности (ПСП). Псевдослучайными двоичными последовательностями называются последовательности, сформированные из дискретных символов «0» и «1» и удовлетворяющие следующим условиям [1]:

- на всей длине последовательности количество символов «0» и «1» приблизительно одинаково, так что вероятности появления символов «0» и «1» примерно равны 0,5;
- среди групп из последовательных единиц и нулей на всей длине последовательности половина содержит один символ, четвертая часть — два символа, восьмая — три символа и т. д., причем чем длиннее группа, меньше частота ее появления (свойство серий);
- разные ПСП, сформированные одним и тем же генератором, различаются только циклическим сдвигом на целое число символов, причем поэлементная сумма по модулю 2 двух последовательностей с разными сдвигами дает третью последовательность, отличающуюся только сдвигом от первых двух (аддитивно-циклическое свойство).

Все возможные последовательности длиной $M = 2^k - 1$ символов ($k = 2, 3, \dots$) могут быть получены на выходе генератора ПСП, который состоит из регистра сдвига, имеющего k последовательно соединенных триггеров (ячеек памяти), и устройства логической обратной связи, использующего операции суммирования по модулю 2.

На рис. 1.1 приведен пример вариантов построения 3-разрядного генератора.

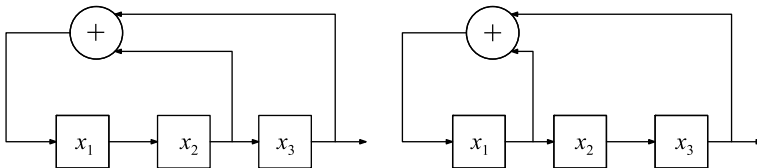


Рис. 1.1. Структурные схемы генератора ПСП длины 7

Посредством внешнего управления на каждом такте на генератор подается команда, по которой значение из ячеек памяти с меньшим номером помещается в ячейку с большим номером. В ячейку x_1 помещается значение, сформированное в сумматоре по модулю 2

на основе поданных символов некоторых ячеек памяти, актуальных в предыдущий такт. На каждом такте с определенной ячейки памяти снимается двоичный символ. Совокупность этих символов на одном периоде работы генератора составляет период ПСП.

Сумматор по модулю 2 работает по следующему правилу: если на вход поступило нечетное количество единиц, то на выходе сумматора формируется символ единицы, в противном случае — ноль. В частности, принцип работы двухвходового сумматора показан в табл. 1.1.

Выходные последовательности регистра, имеющего k разрядов, будут повторяться через $2^k - 1$ такт. Поскольку всего в k -разрядном регистре можно записать 2^k различных двоичных чисел, такой регистр может генерировать 2^k различных последовательностей. Все возможные последовательности длиной $2^k - 1$ символ, кроме последовательности всех нулей, псевдослучайные и являются циклическими перестановками одной, принятой за исходную.

При заданном количестве разрядов последовательность максимальной длины $M = 2^k - 1$ получается только при определенном, а не при произвольном выборе обратной связи (выборе ячеек памяти, с которых сигналы подаются на сумматор по модулю 2).

Правило выбора обратных связей в генераторе устанавливается на основе теории линейных рекуррентных последовательностей. Существуют таблицы, которые содержат правила организации логической обратной связи. Так, для генерации последовательности длиной $M = 2^4 - 1 = 15$ обратные связи нужно взять с четвертого и третьего (или первого) разрядов регистра, последовательности длиной $M = 2^5 - 1 = 31$ — с пятого и четвертого разрядов.

В табл. 1.2 для трехразрядного генератора ПСП, схема которого приведена в правой части рис. 1.1, отражен один период работы генератора.

Проверка правильности формирования ПСП обычно осуществляется посредством построения автокорреляционной функции (АКФ). Для этого вначале необходимо представить полученную генератором последовательность в виде двухуровневого сигнала — функции $S'(t)$. Символ «0» заменяется на сигнал с уровнем 1, символ «1» — на сигнал с уровнем -1 . После этого АКФ $R(i\tau_n)$ определяется в дискретных точках $i\tau_n$, где τ_n — длительность одного импульса ПШС, а i — целое число:

$$R(i\tau_n) = \frac{1}{M} \sum_{t=0}^{M-i\tau_n} S'(t)S'(t+i\tau_n).$$

АКФ полученной ПСП изображена на рис. 1.2 [1].