

УДК 621.396

## ПОИСК СИГНАЛОВ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Шафран С. В., Кудрявцев И. А.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика  
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Процесс приёма и обработки навигационных сигналов можно представить следующим образом. Навигационные сигналы поступают в высокочастотный тракт приёмника, где происходит частотная селекция и понижение частоты несущего колебания до частот, удобных для последующей обработки. Осуществляется дискретизация сигналов и их квантование по уровню. Оцифрованная информация поступает в корреляционные каналы поиска навигационных сигналов, задача которых определить, присутствует ли сигнал заданного спутника на входе устройства или нет. Если сигнал присутствует, формируются оценки фазового сдвига разделяющего C/A кода и доплеровского смещения частоты с точностью, необходимой для работы модуля слежения. Модуль слежения осуществляет захват и сопровождение найденных навигационных сигналов. Осуществляется точное определение фазового сдвига C/A кода и доплеровского смещения частоты, необходимое для решения навигационной задачи. Происходит выделение битов навигационной информации. Выделенные навигационные данные проходят модуль декодирования и коррекции полученной информации. Информация о задержке сигнала, смещение частоты и выделенные навигационные данные поступают в навигационный процессор, где осуществляется решение навигационной задачи на основании полученной информации из навигационного сигнала.

В ходе работы было проведён сравнительный анализ четырёх методов поиска навигационных сигналов.

Идея метода задержки и умножения заключается в исключении несущей частоты. Входной сигнал, его задержанная на величину  $\tau$  и комплексно сопряжённая копия поступают на перемножитель и фильтр низкой частоты. В результате на выходе образуется новый код Голда, принадлежащий тому же семейству, что и исходный, а значит обладающий характеристиками и свойствами, аналогичными C/A коду. Второй компонент результата перемножения зависит только от произведения несущей частоты и величины задержки  $\tau$ . При условии того, что несущая частота известна в пределах  $\pm 10$  кГц, задержка  $\tau$  является известной, можно подобрать такое значение задержки, при котором этот множитель станет примерно равным единице.

Метод вычисления корреляции во временной области заключается в вычислении корреляционной функции с последовательным перебором частоты и сдвига по времени. В приёмнике происходит генерация как C/A кода, так и синусоидального сигнала, соответствующего несущей частоте. Входной сигнал перемножается на локальный C/A код, затем перемножается на синусоидальный сигнал генератора частоты в синфазном и квадратурных каналах для устранения влияния начального сдвига фаз. В каждом из каналов вычисляется корреляционная функция входного навигационного сигнала и сигнала, сгенерированного локально, затем значение корреляционных функций двух каналов суммируется.

Основой метода умножения на C/A код и быстрого преобразования Фурье является перемножение принятого сигнала на C/A код, создаваемый локальным генератором. При совпадении принятого и локального кодов, в идеальном случае при работе без помех, на выходе образуется синусоидальное колебание, частота которого

определяется несущей частотой GPS-сигнала с учётом эффекта Доплера. Для определения частоты выходного колебания возможно использование преобразования Фурье. Поиск осуществляется следующим образом: входной сигнал перемножается на локальный C/A код, после преобразования Фурье на выход поступает спектр сигнала. При совпадении во времени локального и принятого C/A кодов в спектре образуется мощный выброс соответствующей частоты. При его отсутствии делается вывод о несоответствии кодов и происходит изменение времени задержки локального C/A кода, после чего процедура поиска продолжается. Если ни при какой задержке пик не найден, делается вывод об отсутствии в поле видимости спутника с данным кодом.

Метод вычисления корреляционной функции в частотной области схож с методом вычисления корреляции во временной области, за исключением того, что перебор осуществляется по частотам, а не по временным задержкам.

Принятый сигнал перемножается на сигнал опорного генератора, равного по частоте доплеровскому смещению входного сигнала. Полученное произведение и локально сгенерированный код перемножаются в частотной области, производится обратный переход во временную область с помощью преобразования Фурье. При соответствии частоты опорного генератора и доплеровского смещения входного сигнала на выходе образуется пик, соответствующий фазовому сдвигу C/A кода относительно локального генератора.

Исходя из результатов моделирования методов поиска навигационного сигнала, наилучшим вариантом является поиск во временной области, поэтому этот метод был реализован на базе ПЛИС.

Для аппаратной реализации метода поиска на ПЛИС был использован пакет MATLAB® R2013b, Simulink® и среда Xilinx® ISE® 14.5.

Основа генератора – два десятибитных сдвиговых регистра, охваченных обратной связью. Один из регистров имеет параллельный выход, после наложения маски, соответствующей номеру спутника, биты логически перемножаются с выходом другого регистра. Архитектура блока позволяет использовать одну пару регистров для нескольких каналов генератора C/A кода. Для увеличения количества каналов достаточно использовать несколько масок выбора кода, так как генерация C/A кода на спутниках осуществляется синхронно.

Разработанный модуль поиска занимает 7% ячеек ПЛИС Xilinx Spartan6 LX45, что позволяет реализовать на базе данной ПЛИС все модули обработки навигационного сигнала для вычисления псевдодальностей и доплеровского смещения частоты несущего сигнала.

#### Библиографический список

1. James Bao-Yen Tsui. Fundamentals of Global Positioning System Receivers: A Software Approach. A WILEY INTERSCIENCE PUBLICATION [s.n.][s.a.].
2. Kai Borre, Dennis M. Akos, Nicolaj Bertelsen, Peter Rinder, Suren Holdt Jensen, A Software-Defined GPS and Galileo Receiver, Birkhuser Basel, 2007.
3. Hui Hu, and Lian Fang, Signal Search and Acquisition Algorithms for Software GPS Receiver, International Symposium on Information Processing, 2009, pp. 013-016.
4. David M. Lin, James B.Y. Tsui, Acquisition Schemes for Software GPS Receiver, Proceedings of the 11th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, 1998, pp. 317-325.