

УДК 621.396

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОПРОЦЕССОРА L1879VM1 ДЛЯ ПОИСКА
И ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ ГЛОНАСС/GPS ***

**APPLICATION NEUROPROCESSOR L1879VM1 FOR SEARCH
AND DETECTION OF SIGNALS GLONASS/GPS**

кнт Ткачев Е.А., ктн Бахолдин В.С., ктн Герасименко И.С.,
ктн Добриков В.А., ктн Сахно И.В., Иванов В.Ф.

Tkachev E.A., Bakholdin V.S., Gerasimenko I.S., Dobrikov V.A.,
Sakhno I.V., Ivanov V.F.

В статье рассматриваются новые подходы к реализации программных приемников навигационных сигналов ГЛОНАСС/GPS. Описывается реализация этапа поиска сигнала по задержке и частоте, а также решение задачи обнаружения с использованием последовательного критерия Вальда. Приводятся результаты оценки чувствительности приемника.

In paper new approaches to realization of program receivers of navigating signals GLONASS/GPS are considered. Realization of a stage of search of a signal on a delay and frequency, and also the solution of a task of detection with usage of series criterion Vald are described. Results of an estimation of sensitivity of the receiver are resulted.

В настоящее время у нас в стране и за рубежом разработчики навигационной аппаратуры потребителя (НАП) спутниковых радионавигационных систем (СРНС) ГЛОНАСС/GPS идут по пути создания специализированных процессоров, реализующих первичную обработку бинарно - квантованного навигационного сигнала. Недостатком такого подхода является потеря полезной информации о сигнале (при меньших вычислительных затратах) и, в результате, низкие чувствительность и помехоустойчивость приемника.

*).Поддержана Советом по грантам Президента РФ, грант № НШ-2355.2003.9

В данной работе представлены результаты разработки программного приемника непрерывных фазоманипулированных навигационных сигналов СРНС на основе согласованного фильтра, работающего с многоразрядными (2...8 бит) входными данными с использованием отечественного нейпроцессора Л1879ВМ1. Наличие векторного ядра в процессоре Л1879ВМ1 позволяет реализовать обработку такого сигнала в масштабе реального времени при возросшей вычислительной нагрузке на приемник.

По сравнению с общепринятыми аппаратными платформами программная реализация приемного устройства НАП обладает следующими преимуществами:

- возможностью получения высоких технических характеристик;
- возможностью реализации сложных алгоритмов обработки сигналов, не реализуемых традиционными методами;
- возможностью коррекции алгоритма обработки сигнала без изменений аппаратной части.

Прием сигналов в НАП СРНС производится на фоне шумов и помех, которые маскируют и искажают параметры полезного сигнала. Совокупность операций, выполняемых в приемнике над входной смесью с целью принятия решения о наличии или отсутствия сигнала в обозреваемом элементе рабочей зоны, составляет процедуру обнаружения сигнала.

Для обнаружения сигналов используются оптимальные методы, удовлетворяющие некоторым исходным требованиям – критериям оптимальности. Наиболее общим критерием оптимальности является критерий минимума среднего риска. В приемниках эти критерии реализуются с использованием согласованной фильтрации или корреляционной обработки принимаемых сигналов.

В НАП задача поиска и обнаружения сигналов навигационных космических аппаратов (НКА) является одной из наиболее сложных и требующих существенных временных, вычислительных и энергетических затрат. Навигаци-

онный сигнал, излучаемый НКА СРНС, представляет собой высокочастотный сигнал, манипулированный по фазе дальномерным кодом (для GPS, например, это последовательность Голда длиной 1023 символа). Принимаемый сигнал имеет широкий диапазон доплеровских частот, составляющий для наземного потребителя ± 7 кГц.

При решении задачи обнаружения сигнала одного НКА GPS приемное устройство должно проанализировать все возможные каналы дальности при различных значениях доплеровского смещения частоты в полосе 14кГц. Ширина элементарной ячейки поиска по частоте, как правило, составляет величину 500 Гц, а количество анализируемых ячеек по частоте равно 28. Размер анализируемой ячейки по задержке сигнала равна половине длительности символа дальномерного кода. Поэтому для системы ГЛОНАСС число таких ячеек равно $511 \times 2 = 1022$, для системы GPS - $1023 \times 2 = 2046$. Таким образом, общее число ячеек поиска по частоте и по задержке для системы ГЛОНАСС - 28616, а для системы GPS – 57288. Поэтому, если один канал приемного устройства НАП, построенного по схеме последовательного коррелятора, производит поиск сигнала НКА GPS, то на это, в наихудшем случае, потребуется затратить время, равное $57288 \times 1 \text{ мс} = 57,3 \text{ с}$. Указанная процедура поиска должна быть реализована для каждого из 24-х НКА системы GPS.

Возможным способом уменьшения времени поиска и обнаружения, снижения энергозатрат и стоимости является применение программного приемника на основе согласованного фильтра (СФ). Приемник на основе СФ имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с корреляционным. Однако при обработке длинных дальномерных кодов аппаратное построение СФ становится трудно реализуемым. Выходом из этой ситуации является сочетание аппаратного и программного подхода, т.е. сочетание математической логики, эквивалентной СФ, и современной процессорной техники. Аппаратная платформа, близкая по требуемым техническим характеристикам, может быть построена на базе нейропроцессора L1879BM1.

В рассматриваемом случае процедура поиска и обнаружения сводится к определению номеров НКА GPS, находящихся в зоне радиовидимости навигационного приемника, что эквивалентно оценке времени запаздывания дальномерного кода по точной шкале и доплеровского сдвига частоты.

На рисунке 1 изображен общий алгоритм решения задачи поиска и обнаружения. Алгоритм работает следующим образом.

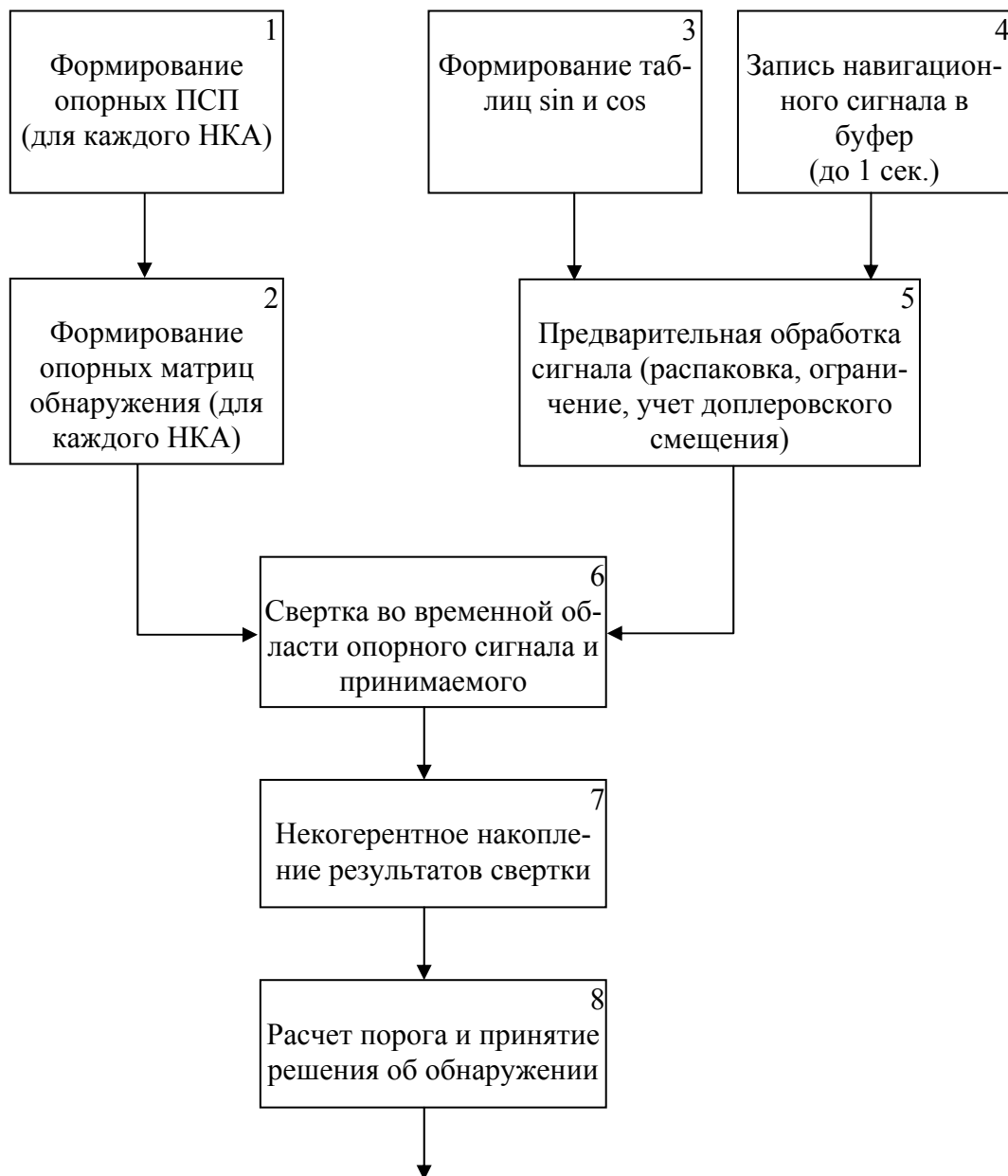


Рисунок 1. Алгоритм работы программного СФ

После загрузки на исполнение программы выполняется подготовительный этап (блоки 1-3). Цель этого этапа заключается в инициализации необходимых структур данных.

На основании кодообразующих полиномов производится формирование дальномерных кодов для каждого НКА GPS (блок 1). Далее из этих кодов в специальном формате формируются матрицы, которые необходимы для выполнения процесса свертки (блок 2) на векторном ядре процессора. Формат представления матриц обнаружения определяется исходя из минимизации времени, затрачиваемого на вычисление свертки и специфики вычислительных алгоритмов.

Для реализации поиска по частоте необходимо заранее сформировать наборы, в виде таблиц значений синусов и косинусов, в диапазоне возможных значений доплеровского сдвига с шагом 500 Гц (блок 3). Особенностью формируемых таблиц синусов и косинусов является их целочисленное представление.

Оцифрованный в квадратурах навигационный сигнал промежуточной частоты через коммуникационный порт процессора записывается во входной буфер. Управление процессом записи производится подпрограммами (блок 4), выполняющими следующие функции: изменение направления работы коммуникационных портов, выдача управляющей информации во внешнее устройство, формирование массива и запись в него навигационного сигнала.

Перед началом обработки сигнала задаются начальные условия поиска, в рассматриваемом случае - номера НКА и соответствующие им доплеровские сдвиги частот.

Предварительная обработка (блок 5) включает в себя: распаковку записанного набора данных (сортировка по квадратурным составляющим), пороговое ограничение сигнала по заданному уровню, компенсация доплеровского смещения с помощью таблиц синусов и косинусов (цифровое гетеродинирование). В результате получают два массива данных для каждой квадратур-

ной составляющей. Рассмотренная процедура реализуется с учетом комплексного характера входного сигнала.

Основной функциональной частью программного СФ является процедура вычисления свертки опорного и принимаемого сигнала во временной области (блок 6). Свертка выполняется для обеих квадратур отдельно.

Для вычисления свертки (программной реализации СФ) используется векторное ядро процессора с разбиением матрицы 4×8 , что позволяет одновременно вычислить четыре свертки входного и опорного сигналов. Опорный сигнал записывается в ячейки весовой матрицы, а входной сигнал поступает на вход X векторного процессора.

Скорость работы всего алгоритма СФ зависит от времени вычисления свертки в каждом цикле поиска. Это наиболее ресурсоемкая часть алгоритма. Так же следует отметить, что существенным фактором, снижающим производительность алгоритма, является медленная загрузка весовых коэффициентов (32 такта) в теневую матрицу нейропроцессора.

Спецификой разработанного программного СФ является некогерентное накопление результатов свертки на заданном числе периодов дальномерного кода, что отличает его от традиционного СФ (блок 7). В предлагаемом алгоритме накопление по каждой из квадратурных составляющих выполняется отдельно. Этот этап завершается суммированием результатов накопления квадратур с последующей нормировкой.

На выходе некогерентного накопителя решается задача обнаружения, использующая двухпороговый критерий Вальда (блок 8). Для выставления нижнего и верхнего порогов в составе блока обнаружения используется процедура определения среднеквадратического отклонения входного сигнала СФ, а также процедура поиска максимума корреляционной функции. Использование в составе приемника двухпорогового обнаружителя позволяет существенно снизить время, необходимое для принятия решения о наличии или об

отсутствии сигнала по сравнению с классическим однопороговым обнаружителем.

На рис. 2 изображен график сигнала, полученный в результате свертки с накоплением, на котором хорошо виден максимум корреляционной функции, свидетельствующий о наличии сигнала.

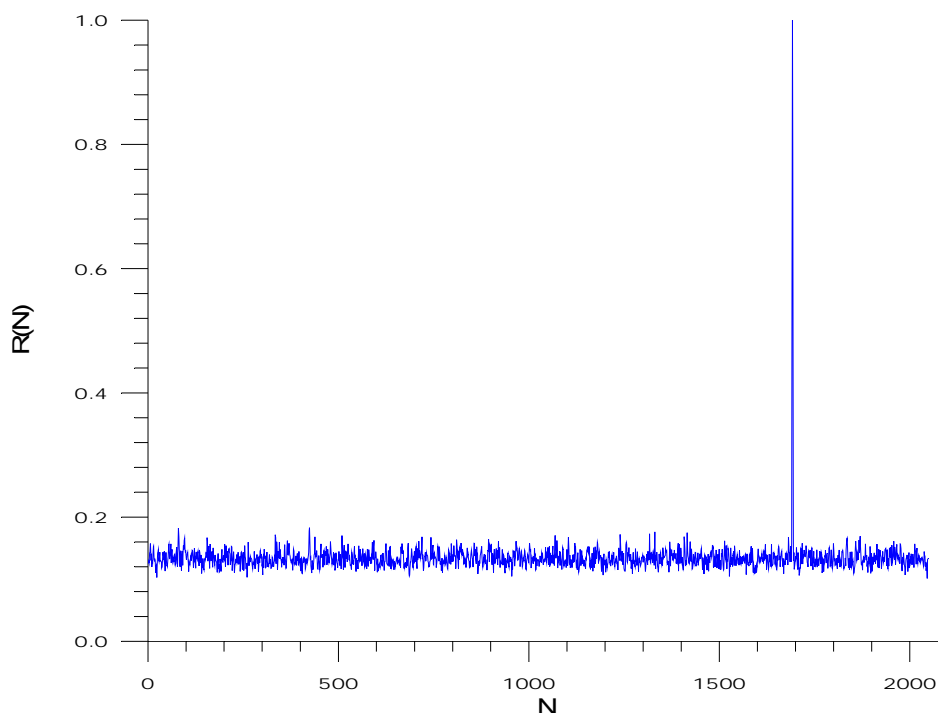


Рисунок 2. Выходной сигнал программного СФ при уровне принимаемого сигнала -158 ДБВт и накоплении на 50 периодах.

Во внутреннем цикле реализуется поиск по частоте. При не превышении порога принимается решение об отсутствии сигнала и производится поиск в следующем элементе рабочей зоны по частоте. Внешним циклом процесса поиска является перебор номеров НКА, с учетом текущей баллистической структуры и видимого созвездия НКА GPS. В результате работы рассмотренного блока программного приемника формируется набор оценок доплеровских частот и дальностей по точной шкале, соответствующих обнаруженным НКА.

Для иллюстрации эффективности разработанного программного СФ на рисунке 3 показаны графики, из которых видно, что с ростом числа периодов накопления возрастает отношение сигнал/шум.

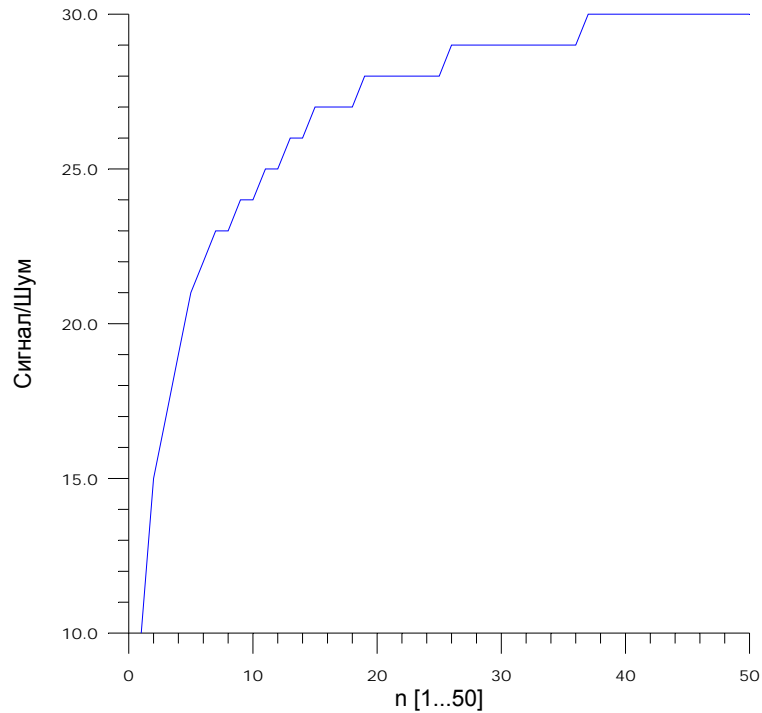


Рисунок 3. Зависимость отношения с/ш от числа периодов накопления при уровне входного сигнала -158ДБВт

Программно-аппаратный комплекс включает программно-математическое обеспечение (ПМО), плату вычислителя с процессором Л1879ВМ1 и host-ЭВМ.

ПМО вычислителя реализует перечисленные выше функции, а также осуществляет взаимодействие с host-машиной.

ПМО host-ЭВМ выполняет функции загрузки программы платы вычислителя, организации обмена данными с ней, визуализации и сохранения результатов.

Функции математических преобразований, поиска максимума, сортировок написаны на языке Ассемблера ввиду жестких требований на время исполнения. Компоновка программы, а также написание функций инициализации массивов данных (формирования дальномерных кодов, матриц обнаружения, таблиц значений \sin и \cos), не требующих высокой скорости исполнения и выполняемых однократно, осуществлялась на языке Си. Обмен данными

между платой вычислителя и host-ЭВМ написан на языке C++ с использованием объектно-ориентированного подхода. Такая реализация интерфейса обмена данными является своеобразной надстройкой над функциями библиотеки загрузки и обмена. Интерфейс инкапсулирует свойства и методы синхронизации программного комплекса, обмена массивами данных и управляющей информацией между платой вычислителя и host-ЭВМ. Набор функций интерфейса оптимизирован для управления режимами работы коммуникационных портов процессора, формирования и передачи через них управляющей информации для внешнего устройства и управления исполняемой программой на плате-вычислителе. Разделение ПМО на функциональные блоки рассмотренным образом обеспечивает оптимальное соотношение между читаемостью программного кода и скоростью его выполнения.

Практическая реализация алгоритмов осуществлялась на плате МЦ 4.01, что повлекло за собой ряд особенностей, связанных с размещением данных в памяти. Схема размещения в памяти массивов данных изображена на рисунке 4. Такая схема организации памяти позволяет централизовать и упростить управление и обмен данными между блоками программного комплекса. Доступ к массивам данным организуется через массивы указателей или массивы структур. Размещение массивов указателей и структур в статической памяти обеспечивает быстрый доступ к массивам данных. Глобальная статическая память используется для передачи и приема массивов данных с host-ЭВМ. Инициализация массивов указателей на массивы данных происходит во время инициализации всего программного обеспечения перед началом его исполнения.

Выбор организации доступа к данным определяется необходимостью включения дополнительной информации, облегчающей работу с массивами данных (признак состояния буфера, размер буфера, указатель на текущую позицию, номер НКА, литера и т.д.).

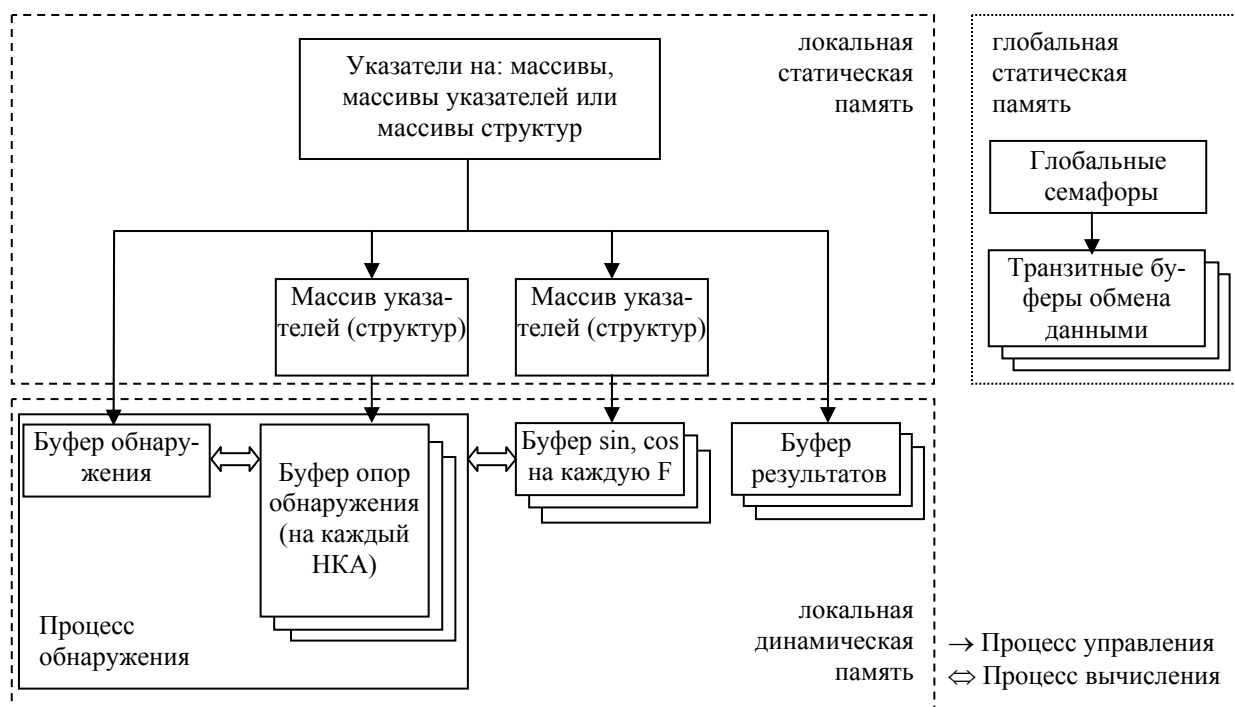


Рисунок 4. Схема организации памяти

Конфигурирование такой схемы памяти сводится к заданию размерностей массивов и выбору числа буферов под входные данные, поступающие от внешнего устройства. Размер массивов для входных данных выбирается исходя из структуры навигационного сигнала и периодов накопления.

Выполнены исследования чувствительности разработанного программного согласованного фильтра на примере сигналов спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS. Сигналы разного уровня (-158...-172 ДБВт) по мощности формировались при помощи имитатора сигналов СН3803 КБ "НАВИС". Испытания показали, что чувствительность в режиме поиска при использовании разработанных алгоритмов на базе процессора Л1879ВМ1 может быть доведена до величины -170 ДБВт, а необходимое время поиска и обнаружения одного навигационного космического аппарата может быть уменьшено до 1 секунды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теоретические основы радиолокации. Изд.2-е. Под ред. В.Е.Дулевича. Сов.радио , 1978. – 608с.

2. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / Под ред. В.Н.Харисова, А.И.Перова, В.А.Болдина.-М.:ИПРЖР, 1998.-400с.
3. “Нейропроцессор NM6403. Введение в архитектуру”. — М.: НТЦ ”Модуль”, 1998.