

Совмещение когерентного и некогерентного режимов работы НАП СРНС

© Авторы, 2015
 © ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2015

И.В. Корогодин – к.т.н., доцент, кафедра «Радиотехнические системы»,
 Национальный исследовательский университет «МЭИ»
 E-mail: korogodin_iv@mail.ru
 Корогодин Илья Владимирович –

В.В. Днепров – аспирант, кафедра «Радиотехнические системы»,
 Национальный исследовательский университет «МЭИ»
 E-mail: vvdneprov@mail.ru

Представлен алгоритм первичной обработки сигналов, позволяющий совместить когерентный и некогерентный режимы работы НАП, упростить ПО навигационного приемника, повысить стабильность работы при смене сигнально-помеховой обстановки.

Ключевые слова: спутниковые радионавигационные системы, ГЛОНАСС, GPS, аппаратура потребителей.

A combined frequency-phase lock loop's algorithm is given. A novel discriminator of phase was synthesized. A phase lock loop contains the discriminator and it estimates a phase of a navigation signal. The discriminator uses output signals of correlators. The correlators are controlled by means of a frequency lock loop. There are no links between the correlators and the phase lock loop in this system; hence an antijam capability and a sensitivity are defined by the frequency lock loop. Results of a simulation and a prototyping are presented.

Keywords: space radio navigation systems, GLONASS, GPS, user apparatus, phase tracking, carrier tracking, frequency tracking, lock loop.

Экспериментальные исследования, а также паспортные данные на различные образцы НАП показывают, что их чувствительность, точность и помехоустойчивость примерно равны при проведении испытаний в лабораторных условиях. Однако, эти же показатели существенно различаются при работе в сложных условиях, например в городских. Именно стабильная работа НАП в сложных условиях является одним из определяющих факторов при выборе приемника для многих потребителей. Следовательно, важна способность работы НАП при резких сменах сигнально-помеховой обстановки. Не менее важно упрощение архитектуры ПО НАП. Сложность программного обеспечения ведет к высоким требованиям к квалификации разработчиков, увеличивает время разработки и способствует возрастанию числа ошибок. Примерный объем прошивки приемника составляет 20000 строк кода. Хорошим показателем для ПО считается наличие 10 ошибок на 1000 строк кода. Таким образом, в прошивке НАП содержится около 200 ошибок той или иной степени опасности.

Сложность кода во многом связана с тем, что в зависимости от внешних условий работы, для обработки одного и того же навигационного сигнала используются разные алгоритмы. Приемник должен уметь быстро переключаться между режимами. Для этого необходимо обеспечить надежные и быстродействующие индикаторы работы его подсистем. Создание и настройка индикаторов при разработке ПО является одним из сложных и слабо освещенных в литературе вопросов.

Переключение между когерентным и некогерентным режимом работы НАП. В когерентном режиме работает система слежения за фазой, что дает возможность формировать точные измерения скорости и, для некоторых приложений, фазовые измерения. Известные в литературе [1] и используемые в настоящее время в приемниках системы слежения за фазой замыкаются на коррелятор. В этих системах результат работы ССФ используется для управления частотой опорного сигнала коррелятора. Для формирования измерений, выделения битов навигационной информации необходимо удерживать ошибки подстройки частоты в определенных пределах. ССФ работает при благоприятных условиях, и при снижении отношения сигнал/шум или срыве слежения за фазой, приемник должен переключаться в некогерентный режим работы и использовать систему частотной автоподстройки. В противном случае, ошибка слежения по частоте быстро превышает допустимое значение, падает эффективное отношение сигнал/шум и происходит срыв всего канала. НАП лишается не только высокоточных измерений скорости и фазовых измерений, но и возможности решать навигационную задачу по традиционным кодовым измерениям.

В типовой НАП имеем надежную систему слежения за частотой, точность подстройки частоты которой достаточна для полноценного функционирования приемника во всем диапазоне отношений сигнал/шум. При этом, ненадежная ССФ все равно допускается до управления коррелятором. Несвоевременное обнаружение ее срыва приведет к потере даже кодовых измерений. Следовательно, приходится либо переходить в некогерентный режим с запасом по энергетике, либо снижать надежность работы канала в граничных условиях. Ниже предлагается иной подход к решению данной проблемы.

Алгоритм совмещения режимов работы НАП. Идея предлагаемого алгоритма состоит в разделении функций систем слежения. Допустим, что ССЧ работает всегда и осуществляет подстройку частоты опорного сигнала коррелятора во всем диапазоне отношений сигнал/шум. К ней же добавляется система оценки фазы, которая не замыкается на коррелятор, а значит сбой которой не разрушает работу канала (рис. 1).

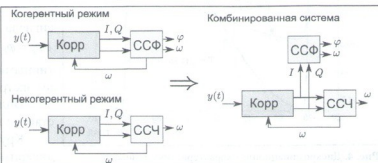


Рис. 1. Построение совмещенного алгоритма

Для синтеза такой системы в качестве модели наблюдений был взят не сигнал на выходе АЦП, а сигналы коррелятора, работающего в контуре ССЧ, а также параметры опорного сигнала коррелятора (рис. 2). Модель входных наблюдений описывается выражениями

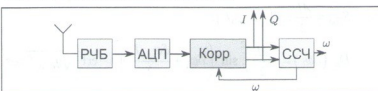


Рис. 2. Схема модели входных наблюдений

$$y = S + n \rightarrow$$

$$I_k = A_k h_{nc,k} \sum_{l=1}^L \cos(\omega_f t_{k,l} + \omega_{0,k} l T_d + \varphi_k) \cos(\omega_f t_{k,l} + \tilde{\omega}_{0,k} l T_d + \tilde{\varphi}_k) + \sum_{l=1}^L n(t_{k,l}) h_{nc}(t_{k,l} - \tilde{\tau}_k) \cos(\omega_f t_{k,l} + \tilde{\omega}_{0,k} l T_d + \tilde{\varphi}_k),$$

$$Q_k = A_k h_{nc,k} \sum_{l=1}^L \cos(\omega_f t_{k,l} + \omega_{0,k} l T_d + \varphi_k) \sin(\omega_f t_{k,l} + \tilde{\omega}_{0,k} l T_d + \tilde{\varphi}_k) + \sum_{l=1}^L n(t_{k,l}) h_{nc}(t_{k,l} - \tilde{\tau}_k) \sin(\omega_f t_{k,l} + \tilde{\omega}_{0,k} l T_d + \tilde{\varphi}_k).$$

Синтез алгоритма совмещения режимов работы НАП. В результате синтеза получен фазовый дискриминатор, работающий по выходным сигналам коррелятора, замкнутого в кольце ССЧ. Этот дискриминатор можно интерпретировать как известный в литературе дискриминатор вида $\text{sign}(I)Q$, но с предварительным «дворотом» квадратур на угол $\delta\Phi_k$, соответствующий фазе опорного сигнала коррелятора:

$$u_{\delta,\varphi} = -\text{sign}(I_k \cos(\delta\Phi_k) - Q_k \sin(\delta\Phi_k)) \times (I_k \sin(\delta\Phi_k) + Q_k \cos(\delta\Phi_k)) \longleftrightarrow -\text{sign}(I_k)Q_k.$$

Так как управление опорным сигналом коррелятора также реализуется в ПО НАП, информация о его фазе доступна. Структурная схема дискриминатора представлена на рис. 3. Проведено имитационное моделирование и получены статистические характеристики нового дискриминатора: его дискриминационная характеристика (ДХ), крутизна ДХ и дисперсия шумов на выходе дискриминатора.

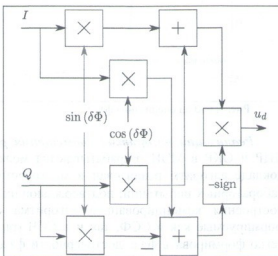


Рис. 3. Структурная схема фазового дискриминатора

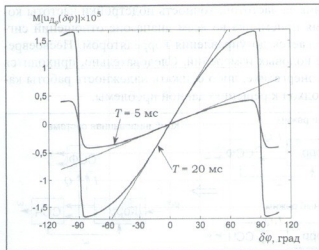


Рис. 4. Дискриминационная характеристика фазового дискриминатора

Дискриминационная характеристика

$$U(\delta\varphi) = \frac{AL}{2} \times \sin\left(\delta\varphi_k + \frac{\delta\omega_{\text{д.к}}T}{2}\right) \operatorname{erf}\left(\sqrt{q_{\text{с/н0}}T} \cos\left(\delta\varphi_k + \frac{\delta\omega_{\text{д.к}}T}{2}\right)\right),$$

где A – амплитуда сигнала; L – число отсчетов сигнала на интервале накопления в корреляторе; $\delta\varphi_k = \varphi_k - \hat{\varphi}_k$, $\delta\omega_{\text{д.к}} = \omega_{\text{д.к}} - \hat{\omega}_{\text{д.к}}$ – разница между истинными параметрами сигнала и соответствующими им экстраполяциями, сформированными в ССФ.

Вид дискриминационной характеристики представлен на рис. 4.

Крутизна ДХ и дисперсия шумов на выходе дискриминатора определяются следующими выражениями:

$$S_{\text{ДФ}} = \frac{AL}{2} \operatorname{erf}\left(\sqrt{q_{\text{с/н0}}T}\right),$$

$$D_{\varphi_{\text{Ф}}}(\delta\varphi_k) = \left(\frac{AL}{2}\right)^2 \sin^2\left(\delta\varphi_k + \frac{\delta\omega_{\text{д.к}}T}{2}\right) \left(1 - \operatorname{erf}\left(\sqrt{q_{\text{с/н0}}T} \cos\left(\delta\varphi_k + \frac{\delta\omega_{\text{д.к}}T}{2}\right)\right)\right) + \frac{\sigma_n^2 L}{2}.$$

Результат имитационного моделирования алгоритма совмещения режимов работы НАП. Проведено моделирование нового и традиционного [1] алгоритмов. В результате получены зависимости СКОш оценивания фазы (рис. 5) и частоты (рис. 6) от отношения сигнал/шум. Результаты моделирования позволяют заключить, что переход к новой комбинированной схеме не приводит к ухудшению точностных характеристик как оценивания фазы, так и частоты навигационного сигнала. На прежнем уровне остаются и показатели чувствительности и помехоустойчивости.

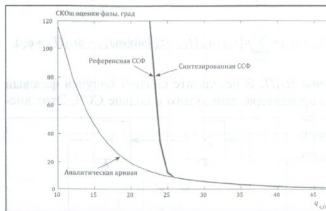


Рис. 5. СКОш оценивания фазы

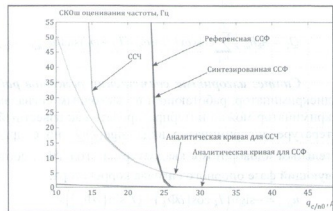


Рис. 6. СКОш оценивания частоты

Реализация алгоритма совмещения режимов работы в образце НАП. В рамках проводимых НИР и ОКР в МЭИ разрабатываются мелкие серии навигационных приемников. Представленный в докладе алгоритм реализован в многочастотной и мультисистемной НАП «Импала». Проведен ряд лабораторных испытаний, подтверждающих сохранение точностных характеристик алгоритма. Из идеи построения комбинированного алгоритма следует, что одновременно доступны оценки частоты, формируемые как в ССФ, так и в ССЧ (рис. 7). Таким образом, появляется возможность достаточно легко формировать флаг достоверности фазовых измерений на основе сравнения этих оценок. Оценки частоты обладают разными свойствами. Оценка частоты из ССФ – высокоточная при благоприятных

условиях. Оценка из ССЧ – надежная и формируется во всем диапазоне отношений сигнал/шум. Сравнение этих оценок между собой позволяет выявить начало срыва ССФ.

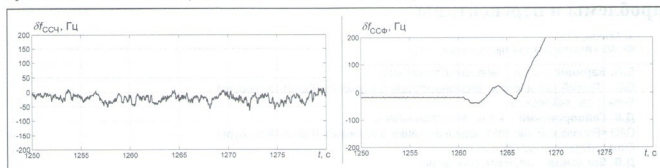


Рис. 7. Оценки частоты, формируемые ССФ и ССЧ

Главная идея по улучшению стабильности работы НАП в неблагоприятных условиях – не допускать ССФ до управления параметрами опорного сигнала коррелятора. Тогда сбои в ней не будут нарушать работы канала. В предлагаемом алгоритме ССФ и ССЧ работают одновременно, что позволяет отказаться от ряда режимов работы канала, тем самым упростив ПО. Как отмечалось ранее, системы работают одновременно, они обе формируют измерения частоты. Сравнение этих измерений между собой позволяет реализовать быстродействующие индикаторы достоверности для ССФ и индикаторы ложного захвата. При этом, за все эти преимущества не придется расплачиваться показателями точности, помехоустойчивости и чувствительности.

Литература

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд-е 4-е, перераб. и доп.. М.: Радиотехника, 2010. 800 с.

ВНИМАНИЕ!

В Издательстве «Радиотехника» вышла в свет книга

Основы космических информационных систем

Учебное пособие

Авторы

Алексей Романов, Александр Романов

Дано краткое систематическое изложение основных разделов курса: системное проектирование и анализ космических систем; физические основы функционирования космических информационных систем связи, навигации и дистанционного зондирования Земли; автоматизированные технологии сбора, обработки и усвоения спутниковых данных в геоинформационных системах (ГИС). Рассмотрены телекоммуникационные технологии передачи и обмена данными между распределенными проблемно-ориентированными базами данных, их практическое применение в примерах систем мониторинга различного целевого назначения. Изложены современные методы сбора и обработки геокодированных данных, получаемых в ходе спутниковых верификационных экспериментов. Представлена космическая информация, доступная пользователям в международных центрах по сети Интернет.

Для студентов старших курсов, обучающихся по специальностям «Радиотехника», «Космическая физика», «Системный анализ, управление и обработка информации». Может быть полезно аспирантам и научным работникам, специализирующимся в области прикладных задач дистанционного аэрокосмического зондирования, спутниковой навигации и космической связи.

По вопросам заказа и приобретения книги обращаться в Издательство «Радиотехника» по адресу:

107031, Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 20/б,
тел./факс: (495) 625-78-72, 621-48-37, 625-92-41
<http://www.radiotec.ru>, e-mail: info@radiotec.ru

Радиолокация
и радиометрия

Методы и средства
оптоэлектроники
в радиофизике

Системы
радиоуправления

Антенны и техника СВЧ

Робототехника

Биомедицинская
электроника

Технологии
живых
систем

Новые
информационные
технологии

Нейрокомпьютинг

Нанотехнологии

Информационные
и измерительные
системы

Радионавигационные технологии



УДК 629.78
ББК 39.67
П 15

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СЕРИИ

Редакционный совет:

д.ф.-м.н., проф. О.В. Бешкий, акад. Ю.В. Гуляев, д.т.н., проф. А.Ю. Гринев, д.т.н., проф. Ю.Л. Козирацкий, д.т.н., проф. Г.С. Кондратенков, д.т.н., проф. А.В. Коренной, д.т.н., д.б.н. И.В. Матвейчук, д.т.н., проф. В.И. Меркулов, д.т.н., проф. А.И. Перов, к.б.н. А.В. Савельев, акад. А.С. Сигов, д.т.н. проф. М.С. Ярылков

Выпуск 4

Серия «Радиосвязь и радионавигация»

Рецензент:

докт. техн. наук, профессор *В.Н. Харисов* (ОАО «ВНИИР Прогресс»)

П 15 Радионавигационные технологии. Сб. статей. / Под ред. *А.И. Перова*. – М.: Радиотехника, 2015. – 144 с.: ил. Научно-технические серии. Вып. 4. Серия «Радиосвязь и радионавигация». (Авторы указаны на с. 144)

ISBN 978-5-93108-096-3

Отражены теоретические вопросы спутниковой навигации, технологии перспективной системы ГЛОНАСС, показаны результаты экспериментальных исследований технологий спутниковой навигации; рассмотрены вопросы мониторинга навигационных сигналов; даны приложения технологий спутниковой навигации в различных областях. Книга подготовлена по материалам научно-технической конференции «Радионавигационные технологии в приборостроении» (сентябрь 2014 г.).

Для научных работников и инженеров, а также преподавателей и студентов вузов.

УДК 629.78
ББК 39.67

ISBN 978-5-93108-096-3

© Авторы, 2015

© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2015