

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.396.96

Карусейчик
Евгений Леонидович

Цифровая обработка радиолокационных сигналов при малых отношениях
сигнал/помеха

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра техники и технологии
по специальности 1-39 81 03 Информационные радиотехнологии

Научный руководитель

Козел Виктор Михайлович

Кандидат технических наук, доцент

Минск 2016

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широкое распространение получили фазированные антенные решетки (ФАР). Благодаря их использованию, система получается более гибкой, т.к. ФАР позволяют относительно быстро изменять форму диаграммы направленности и переводить луч из одного направления на другое, таким образом, система с многоэлементной антенной решеткой обладает преимуществом по сравнению с системой с одноэлементной антенной. Также ФАР позволяет подстраиваться под условия приёма и формировать нули диаграммы направленности в направлении источника помех, если это необходимо.

Современные методы работы с ФАР в большинстве своём рассчитаны на цифровую реализацию алгоритмов. Для обработки сигнала можно использовать специальные микросхемы: программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) или цифровые сигнальные процессоры (ЦСП), которые достаточно широко распространены на сегодняшний день и имеют относительно невысокую стоимость.

ПЛИС и ЦСП позволяют эффективно реализовать обработку сигнала, а также делают всю систему легко модернизируемой, т.к. большинство таких микросхем можно переконфигурировать.

Сигнал с ФАР обычно оцифровывается после суммирования, т.е. сигнал с каждого элемента ФАР проходит через фазовращатель, а потом складывается с остальными. Но определенные перспективы даёт система, в которой будет оцифровываться сигнал непосредственно с каждого элемента ФАР ещё до фазирования, и далее с ним будут проводиться различные манипуляции уже в цифровом виде.

К преимуществам такого подхода можно отнести некоторое упрощение конструкции, т.к. будет устранено множество аналоговых элементов: фазовращатели, фидерные линии и сумматоры СВЧ-сигналов. Также это приведёт к снижению потерь энергии полезного сигнала.

Однако, как будет показано далее в работе, при таком подходе аналого-цифровой преобразователь (АЦП) вынужден будет работать в не совсем обычном для него режиме, когда уровень сигнала на его входе будет меньше, чем уровень шума из-за того, что энергия сигнала, получаемая с одного элемента ФАР, будет мала. Хотя и при применении классического метода обработки такая ситуация может возникнуть.

В результате, возникает необходимость исследовать характеристики АЦП при таком режиме работы. А также рассмотреть алгоритм для обнаружения сигналов при отношении сигнал/шум (ОСШ) меньше либо равном единице.

Данная работа привязана к радиолокационной станции (РЛС) с адаптивной антенной системой и малой излучаемой мощностью, но результаты могут быть применены не только в радиолокации, но и в других областях.

Исследования выполнены на основе теории радиолокации и статистической радиотехники, а также проведено моделирование в системе *MATLAB*.

Опираясь на результаты работы можно будет сформулировать требования к применяемым АЦП в системах с ФАР, а также оценить их работоспособность, вероятности обнаружения и ложного обнаружения в радиолокационных системах при различных ОСШ.

Таким образом, тема работы является весьма актуальной. В будущем результаты работы могут быть применены при разработке РЛС.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Целью диссертационной работы является исследование цифровой части радиоприемного тракта (включая АЦП).

Задачи ставятся следующие:

- рассмотреть систему с ААР и оценить ОСШ на входе такой системы;
- исследовать характеристики аналого-цифрового преобразователя в ситуации, когда соотношение сигнал/шум на его входе меньше единицы;
- определить, какой АЦП можно использовать при малых ОСШ;
- выбрать шаг квантования для АЦП;
- определить минимальное количество уровней квантования в АЦП;
- описать алгоритм цифровой обработки радиолокационного сигнала при уровне сигнала, не превышающем уровень шума;
- описать структуру цифрового фазового обнаружителя;
- провести моделирование фазового обнаружителя, исследовать его характеристики.

На сегодняшний день в некоторых цифровых радиотехнических системах (в радиолокации, связи, космических технологиях, геодезии и т.д.) возникает необходимость цифровой обработки сигналов, уровень которых меньше уровня шумов, поэтому направление исследования представляется весьма приоритетным.

В данной работе исследована и описана радиолокационная система с ААР, в которой приемник обрабатывает сигнал с ОСШ меньше единицы. В результате выполнения работы даны рекомендации по выбору АЦП для таких систем. Также определены оптимальный шаг квантования и количество уровней квантования.

В целом, все поставленные задачи были решены.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Применение фазированных антенных решеток в радиолокационных системах.

В этой главе описаны преимущества применения фазированных антенных решеток. Также кратко рассмотрено применение адаптивных антенных решеток (ААР) в радиолокации. Описано две различные структуры систем с ААР.

В первой главе также рассматривается радиолокационная станция (РЛС) с антенной решеткой, элементы которой расположены на окружности. В такой РЛС нет движущихся частей, а сканирование пространства происходит благодаря изменяемому фазовому распределению.

Для вышеописанной РЛС примерно подсчитано отношение сигнал/шум и сделан вывод, что из-за малых геометрических размеров антенны, небольшой мощности и широкополосности приёмника, уровень сигнала может быть достаточно мал, вплоть до того, что отношение сигнал/шум при обработке может быть меньше или равно единице. В такой ситуации АЦП работает в нетипичном для него режиме. Такой режим работы АЦП рассмотрен в следующей главе.

Глава 2. Аналого-цифровое преобразование.

В главе 2 рассмотрены основные параметры и типы АЦП. Описаны основные типы и источники погрешностей при аналого-цифровом преобразовании.

В данной главе обоснован выбор шага квантования при работе с малыми сигналами, а также количество уровней квантования. Даны рекомендации по выбору АЦП.

Глава 3. Фазовый обнаружитель.

В третьей главе кратко описана теория фазового обнаружения. Рассмотрен алгоритм фазового обнаружителя. Также приведена его структура.

В данной главе был описан алгоритм работы фазового обнаружителя, сделано его моделирование в *MATLAB*. В результате моделирования определены основные характеристики обнаружителя (зависимость вероятности обнаружения от различных параметров). Полученные результаты показаны в третьей главе в виде графиков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения диссертации были полностью решены поставленные задачи.

В первой главе дана структура радиолокационной станции с адаптивной антенной решеткой. Описан характер возникающих в системе шумов.

Из первой главы следует, что в некоторых РЛС из-за малых геометрических размеров антенны, небольшой мощности и широкополосности приёмника возникает ситуация, когда на выходе приёмника уровень сигнала получается невысоким относительно уровня шума. Также можно сделать вывод, что шум в прямом и квадратурном канале будет независимым и распределенным по нормальному закону (это следует учитывать при моделировании). Дана примерная оценка отношения сигнал/шум на входе системы.

Во второй главе описана работа аналого-цифрового преобразователя при малых отношениях сигнал/шум. Такой режим работы для АЦП не совсем типичный, поэтому необходимо решить, какие параметры для аналого-цифрового преобразования необходимо выбрать.

В этой главе выявлены основные источники погрешности работы АЦП и их характер. В результате установлено, что шумы аналого-цифрового преобразователя также распределены по нормальному закону. Также вычислена величина шага квантования при преобразовании (шаг квантования выбирается равным среднеквадратическому отклонению шума). Оптимальное количество уровней квантования при этом составляет 5-8, далее увеличивать количество уровней не имеет смысла.

Также установлено, что при малых отношениях сигнал/шум на входе преобразователя, лучшими характеристиками будет обладать АЦП типа S .

В третьей главе описан алгоритм фазового обнаружителя сигнала. Данный алгоритм простой и достаточно эффективный для его использования в РЛС. Одно из достоинств – это его простота, так что на базе одной ПЛИС можно строить многоканальные системы с применением данного алгоритма.

Также было выполнено моделирование обнаружителя в *MATLAB*, код приведен в приложении.

Таким образом, можно сказать, что были получены ответы на все поставленные вопросы, и по полученным данным можно реализовать систему, описанную в работе, на практике.