

РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НА ПЛИС В РЛС МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Валеев В.Г., Долматов А.Г., Петров А.С., Язовский А.А.

УГТУ-УПИ

620002, Екатеринбург, ул.Мира 32, jaz@nexcom.ru, jaz@rtf.ustu.ru.

Цифровая обработка сигналов (ЦОС) введена в РЛС на выходе приёмника после амплитудного детектора. Задачами ЦОС в РЛС метеоконплексов являются:

- I. извлечение информации о дальности до радиозонда (РЗ);
- II. извлечение информации о направлении на РЗ;
- III. выделение телеметрической информации, содержащейся в сигнале РЗ.

В соответствии с задачами, решаемыми ЦОС, вся обработка разделена на три канала: дальности, телеметрии и угловой канал.

Вся необходимая для решения задач ЦОС информация содержится в параметрах излучаемых радиозондом коротких импульсов – амплитуде, длительности и частоте следования. Информация о дальности закодирована в изменении длительности трех, следующих подряд, импульсов радиозонда, что представляет собой метку дальности РЗ. Задачей канала дальности является измерение временного интервала между импульсами запуска передатчика РЛС и метками дальности РЗ на фоне мешающих сигналов радиозонда другого типа и шумов тракта передачи сигнала. Задача решается с помощью двух схем – схемы выделения метки дальности и схемы оценки дальности. Схема выделения метки дальности реализует принцип накопления сигнала и состоит из рециркулятора, схемы понижения тактовой частоты, полосового фильтра и амплитудного детектора.

Назначение рециркулятора – повышение отношения сигнал/шум в канале дальности. Основной элемент рециркулятора – линия задержки на длительность периода следования импульсов запуска передатчика РЛС, – реализована на внешнем (для ПЛИС) блоке памяти. Схема понижения тактовой частоты канала дальности состоит из фильтра нижних частот (ФНЧ) невысокого порядка и дециматора (одного из базовых элементов ПЛИС). Полосовой фильтр (ПФ) настроен на частоту изменения длительности импульсов РЗ. ПФ работает на пониженной тактовой частоте и поэтому может иметь высокий порядок, достаточный для качественного выделения метки дальности РЗ из входного сигнала. Амплитудный детектор представляет собой каскадное соединение вычислителя абсолютной величины и ФНЧ. Схема оценки дальности реализует максимально правдоподобную оценку положения метки дальности на периоде зондирования.

Телеметрическая информация передается радиозондом при помощи изменений частоты следования импульсов. Задачей канала телеметрии является обнаружение моментов этих изменений и измерение временных промежутков между изменениями. Мешающие воздействия – сигналы радиозондов другого типа и шумы тракта передачи сигнала. Основная обработка в канале телеметрии выполняется над квадратурами входного сигнала на низкой тактовой частоте. Для получения квадратур использован вычислительный блок, реализующий CORDIC-алгоритм (Coordinate Rotation Digital Computer) в режиме “вращения” [1]. При этом на вход X блока подается входной сигнал с АЦП, на вход Y – ноль, а на вход Z – колебание пилообразной формы с частотой поднесущей сигнала телеметрии. Далее квадратуры поступают на ФНЧ, работающий с понижением тактовой частоты. Квадратуры сигнала с выхода ФНЧ поступают на блок, реализующий CORDIC-алгоритм в режиме “векторизации”, то есть вычисляющий амплитуду A и фазу вектора, координатами которого являются квадратуры на его входах X и Y . Затем отсчеты фазы поступают на схему оценки частоты (с помощью оценки производной) и далее на схему измерения временных интервалов телеметрии, а отсчеты амплитуды A – в угловой канал.

Задача углового канала – оценка ошибок отклонения линии визирования РЛС от равносигнальной зоны (РСЗ) диаграммы направленности (ДН) антенны в азимутальной и угломестной плоскостях. На вход углового канала поступают опорные сигналы, отличающиеся друг от друга на 90° и сфазированные с положением ДН антенны, а также сигнал с выхода канала телеметрии, амплитуда и фазовый сдвиг (относительно опорных сигналов) которого несут информацию о степени отклонения РСЗ от линии визирования. Для расчета ошибок с помощью CORDIC-алгоритма по опорным сигналам вычисляется текущая фаза опорного колебания. Значение этой фазы является адресом в блоке памяти, по которому записывается текущий отсчет амплитуды A с выхода канала телеметрии. Таким образом в памяти в каждый отсчет времени содержится набор отсчетов амплитуды A , принятый за один период опорного колебания, что делает угловой канал нечувствительным к стабильности частоты сканирования антенны. Это также дает возможность вычислять угловые ошибки, как среднее значение за период произведения отсчетов амплитуды A на соответствующее опорное колебание, без умножений на каждом отсчете.

Требования к техническим средствам цифровой обработки обусловлены необходимой точностью измерения дальности, а также точностью выделения телеметрической информации. В результате обзора существующих аппаратных средств ЦОС был сделан выбор в пользу модулей XDSP-1MP-AD-B фирмы "SET – Scan Engineering Telecom" (г.Воронеж) на базе ПЛИС XCV300-4 производства компании Xilinx [2-4].

Проектирование ЦОС проводилось поэтапно. На первом этапе была разработана модель ЦОС средствами пакета Simulink версии 4.1, входящего в состав интегрированной программной среды MatLab версии 6.1 [5]. Для учёта особенностей ПЛИС фирмы Xilinx была также установлена программа Xilinx System Generator (XSG), которая создаёт подраздел библиотеки модулей Simulink, содержащий базовые блоки схем ПЛИС Xilinx, ограничивает допустимые типы операций операциями над числами с фиксированной точкой, выполняет проверку корректности модели ЦОС, генерирует VHDL-код отлаженных моделей Simulink. На втором этапе отлаженная модель была перенесена в проект пакета САПР Xilinx ISE Series 4.1i и оттранслирована средствами пакета в загрузочный модуль ПЛИС XCV300-4. На третьем этапе модуль ЦОС XDSP-1MP-AD-B был подвергнут стендовым испытаниям. По результатам испытаний модель ЦОС была скорректирована.

Законченный модуль ЦОС был испытан в натуральных условиях с пусками метеорологических радиозондов различных типов. Результаты испытаний подтвердили работоспособность модуля и соответствие его заданным характеристикам.

Технические характеристики модуля:

- I. Точность измерения дальности – 10 м.
- II. Точность измерения угловых ошибок – 1,4 град.
- III. Точность измерения временных параметров телеметрии – 1 мкс.
- IV. Характеристики каналов ввода: 1 АЦП 12 бит/25 MSPS; 3 АЦП 12 бит/5 MSPS.
- V. Характеристики каналов вывода: 2 ЦАП 12 бит/300 KSPS, 3 UART на 115200 бод.

Литература

- I. Цифровая обработка сигналов: Справочник / Л.М.Гольденберг, Б.Д.Матюшкин, М.Н.Поляк.- М.: Радио и связь, 1985.-312 с., ил.
- II. Соловьев В.В. Проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем.- М.: Горячая линия-Телеком, 2001.-636 с.: ил.
- III. Кнышев Д.А., Кузелин М.О. ПЛИС фирмы "Xilinx": описание структуры основных семейств.- М.: Издательский дом "Додека-XXI", 2001.-240 с.
- IV. Модуль сбора и обработки сигналов XDSP-1MP-AD. Техническое описание. Подготовлено "Scan Engineering Telecom" 2000.- 47 с.
- V. Ю.Ф. Лазарев. MatLAB 5.x.- К.: Издательская группа BHV, 2000.-384 с.



FPGA-BASED DIGITAL SIGNAL PROCESSING FOR THE METEOROLOGICAL RADAR STATION

Valeev V., Dolmatov A., Petrov A., Yazovsky A.

Issues of a digital signal processing (DSP) in the meteorological radar station are:

1. Range measuring up to radiosonde;
2. Direction information on radiosonde selection;
3. Telemetry information allocation, that contain in radiosonde signal.

The requirements to means DSP conditioned by range measuring accuracy and telemetry information selection accuracy. As result of existing DSP hardware analysis, module XDSP-1MP-AD-B selected. Our module produced by "Scan Engineering Telecom", Voronezh. Module consists of Xilinx XCV300 FPGA and peripherals.

The DSP system design was make step-by-step. First stage, DSP model was created by means Xilinx System Generator, which used with Math Works Simulink. The Xilinx System Generator automatically generates Hardware Description Language (HDL) code. The HDL design then synthesized for implementation in Xilinx ISE CAD. Next stage, design were loaded in Xilinx XCV300 FPGA and module XDSP-1MP-AD-B were bench tested. By test results, the DSP model was corrected.

Finished DSP module was tested with full-scale conditions. Our test conditions include launches of different type radiosondes. The test results have confirmed module functionality and accordance to its given characteristics.

Module characteristics are:

1. Range measuring accuracy is 10 meters;
2. Angular measuring accuracy is 1.4 degree;
3. Telemetry time-domain parameter measuring accuracy is 1 us.
4. Input channels consist of 12bit/25MSPS ADC and 3ch 12bit/5MSPS ADC.
5. Output channels consist of 2 12bit/300kSPS DAC and 3 115200 baud UART.