

Костров В.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: vvk@mit.ru*

### **Принципы снижения вычислительной сложности алгоритмов частотно-временной обработки сигналов**

Снижение времени вычислений при ограничениях на вычислительный ресурс представляет собой сложную задачу, причем на разных стадиях жизненного цикла аппаратуры она решается различными способами, а ошибки в расчетах имеют разную стоимость. Оценка вычислительных затрат на реализацию алгоритма, способного выполнить поставленные в техническом задании задачи, на этапе проектирования системы цифровой обработки сигналов (ЦОС) позволяет определить требования к процессорам, микроконтроллерам или ПЛИС. Особенно остро проблема снижения вычислительной сложности стоит в информационно-измерительных системах, работающих в реальном масштабе времени [1, 2].

Можно выделить, по крайней мере, два направления снижения вычислительных затрат, широко используемых в современных системах ЦОС. Первое направление связано с применением алгоритмов вычислений, которые устраняют избыточную точность результатов и за счет снижения разрядности операндов позволяют сэкономить вычислительный ресурс. Другое направление использует так называемые быстрые алгоритмы реализации вычислений по алгоритмам, которые многократно используются при обработке сигналов.

Цель доклада – рассмотреть принципы снижения вычислительных затрат с учетом системных характеристик при работе системы цифровой обработки сигналов в частотной и временной областях.

В качестве примера рассматривается система цифровой асинхронной связи, основным системным параметром которой является допустимое число ошибок в блоке передаваемой информации [3]. Система связи работает в условиях многолучевого распространения сигналов, обусловленного отражениями от окружающих предметов. Для синхронизации приемника использованы специальные синхронизирующие символы, определяющие временное положение блока информационных символов. Особенностью алгоритма синхронизации является то, что устранение временного рассогласования в рассматриваемой асинхронной системе осуществляется с помощью метода полихотомии. Показано, что при использовании метода дихотомии потери в пороговом отношении сигнал-шум достигают 2 дБ, при разделении временного интервала неопределенности на 3 части потери снижаются до 0,8..1 дБ, при использовании 4-х частей – 0,2...0,3 дБ. Дальнейшее увеличение числа отсчетов, приходящихся на элемент кода, приводит к снижению потерь до 0,1 дБ, но при этом возрастает время вычислений. Если учесть, что в канале распространения флуктуационные потери могут составлять 2...5 дБ, то оптимизированным значением с точки зрения критерия «время вычислений – качество» следует считать 4 выборки на одном элементе кода. Для обеспечения когерентной обработки отсчеты сигнала формируются в комплексном виде. Такой подход в отличие от многоканального метода максимального правдоподобия позволяет решить две задачи:

- сохранить информацию о лучах, время прихода которых не попадает в сетку дискретизации с используемым интервалом кратности;
- в рамках метода полихотомии устранить неопределенность относительно времени прихода информационного символа.

Кроме того, надо учитывать, что между соседними отсчетами возникают корреляционные связи, обусловленные использованием при формировании квадратурных составляющих одной и той же реализации сигнала с шумом.

Особенностью функционирования рассматриваемой системы является наличие существенного доплеровского сдвига сигнала, возникающего за счет взаимного движения передатчика и

приемника. В связи с этим обработка сигналов производится с использованием многоканальной доплеровской фильтрации. Проведен теоретический анализ отклика цифрового приемника при различных вариантах настройки доплеровских фильтров, который показал, что при выборе шага настройки фильтров  $\Delta f_{\text{допкан}}$ , равном полосе сигнала  $\Delta f_s$ , будут возникать потери 6...20 дБ. Если учесть это обстоятельство и выбирать шаг полосы сигнала  $\Delta f_{\text{допкан}} = \Delta f_s/2$ , то получим максимальные потери на доплеровскую фильтрацию около 3-х дБ. При выборе  $\Delta f_{\text{допкан}} = \Delta f_s/3$  получаем потери 1,41 дБ; при выборе  $\Delta f_{\text{допкан}} = \Delta f_s/4$  получаем потери 0,72 дБ; выборе  $\Delta f_{\text{допкан}} = \Delta f_s/5$  получаем потери 0,45 дБ. После значения частотной расстройки каналов  $\Delta f_s/5$  снижение потерь замедляется, поэтому целесообразно использовать частоты из диапазона  $\Delta f_{\text{допкан}} = \Delta f_s/2 \dots \Delta f_s/5$ . Чтобы перекрыть весь заданный диапазон доплеровских частот, потребуется  $M = 2F_{\text{допmax}} / \Delta f_{\text{допкан}} = 2F_{\text{допmax}} \cdot N_f / \Delta f_s$ , где  $F_{\text{допmax}}$  – максимальное доплеровское смещение частоты;  $N_f$  – число доплеровских фильтров в полосе полезного сигнала.

Экспериментальные исследования показали, что полученные выше рекомендации оказались заниженными, т.к. при их использовании качество приема оказалось ниже ожидаемого. Этот факт привел к необходимости постановки исследований на основе экспериментальных данных и проведению анализа системных характеристик от общего числа доплеровских фильтров числа  $M$  и числа фильтров в полосе сигнала  $N_f$ . Такой анализ позволил сделать обоснованный выбор числа доплеровских фильтров и оптимизировать их количество при ограничениях на качество обработки сигналов.

В целом следует отметить, что экстремальные значения числа временных и частотных каналов являются граничными в задаче поиска с ограничениями на качество работы цифрового приемника. Увеличение числа частотных доплеровских и временных каналов обработки является оправданной платой за повышение качества обнаружения и классификации сигналов, а снижение времени вычислений обеспечивается компромиссом с ограничениями качества работы системы ЦОС.

Таким образом, в настоящем докладе предложена методика снижения времени на вычислительные процессы в ЦОС с использованием системных характеристик, которая предполагает:

- проведение натурных испытаний, с использованием которых создаются базы (библиотеки) сигналов и шумов, обеспечивающих получение необходимых статистических характеристик;
- проведение на основе сигналов и помех из базы данных моделирования и генерации испытательных сигналов для всей системы; тестовые сигналы формируются в различных полосах частот и могут использовать сложные виды модуляции;
- испытание всей системы или устройства ЦОС по критерию допустимого снижения качества работы и системных характеристик, которое позволяет определить оптимизированные с точки зрения снижения вычислительных затрат параметры системы или аппаратуры ЦОС.

Следует отметить и недостатки предлагаемой методики. Наиболее затратной и трудоемкой является ее первая стадия, причем результат последующей оптимизации будет зависеть от условий проведения натурных испытаний, окружающей среды. Поэтому в аппаратуре необходимо предусматривать возможность учета конкретных условий эксплуатации.

### Литература

1. Кнут Д.Э. Искусство программирования. Т.2. Получисленные алгоритмы. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2000.
2. Mueller S.M., Paul W.J. **Computer Architecture Complexity and Correctness**. – Springer-Verlag, 2000.
3. Костров В.В., Киров Д.В. Особенности временной синхронизации цифровых приемников в условиях многолучевого распространения // См. настоящий сборник.