

ПРИКЛАДНАЯ БИБЛИОТЕКА
БИБЛИОТЕКА ФУНКЦИЙ БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ФУРЬЕ ДЛЯ MS-24

Руководство программиста

Порядок использования настоящей документации

Настоящая документация охраняется действующим законодательством Российской Федерации об авторском праве и смежных правах, в частности, законом Российской Федерации «Об авторском праве и смежных правах». ГУП НПЦ «ЭЛВИС» является единственным правообладателем исключительных авторских прав на настоящую документацию.

Настоящую документацию без предварительного согласия ГУП НПЦ «ЭЛВИС» запрещается:

- воспроизводить, т.е. изготавливать один или более экземпляров настоящей документации, ее части, в любой форме, любым способом;
- сдавать в прокат;
- публично показывать, исполнять или сообщать для всеобщего сведения;
- переводить;
- переделывать или другим образом перерабатывать (дорабатывать).

ГУП НПЦ «ЭЛВИС» оставляет за собой право в любой момент вносить изменения (дополнения) в настоящую документацию без предварительного уведомления о таком изменении (дополнении).

ГУП НПЦ «ЭЛВИС» не несет ответственности за вред, причиненный при использовании настоящей документации.

Передача настоящей документации не означает передачи каких-либо авторских прав ГУП НПЦ «ЭЛВИС» на нее.

Возникновение каких-либо прав на материальный носитель, на котором передается настоящая документация, не влечет передачи каких-либо авторских прав на данную документацию.

Все указанные в настоящей документации товарные знаки принадлежат их владельцам.

Аннотация

«Библиотека функций быстрого преобразования Фурье для МС-24» (далее – библиотека) входит в состав программы «Платформа Мультикор. Прикладная библиотека» РАЯЖ.00013-01.

В документе «Платформа Мультикор. Прикладная библиотека. Библиотека функций быстрого преобразования Фурье для МС-24. Руководство программиста» РАЯЖ.00013-01 33 02 приведено описание действий программиста по работе с функциями быстрого преобразования Фурье, обратного БПФ, свертки и корреляции для данных в формате с плавающей точкой - 24Е8 (стандарт IEEE 754).

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| 1. Назначение и условия применения программы..... | 5 |
| 1.1. Назначение программы..... | 5 |
| 1.2. Условия применения программы..... | 5 |
| 2. Характеристики программы..... | 6 |
| 2.1. Состав библиотеки..... | 6 |
| 2.2. Подпрограммы 2-инверсного переупорядочения..... | 10 |
| 2.3. Назначение функций..... | 10 |
| 2.3.1. Декодирование имен функций..... | 10 |
| 2.3.2. Описание параметров, передаваемых в функции..... | 11 |
| 2.3.3. Рекомендации по размещению данных в DSP..... | 12 |
| 2.4. Описание работы инициализирующих функций..... | 12 |
| 2.5. Описание работы главных функций преобразования..... | 12 |
| 2.6. Инициализация регистров управления и конфигурационного массива перед запуском работы программ преобразований..... | 13 |
| 3. Обращение к программе..... | 13 |
| 3.1. Подключение библиотеки..... | 13 |
| 3.2. Обращение к подпрограммам 2-инверсного переупорядочения..... | 13 |
| 3.3. Пример написания программы с использованием библиотечных функций БПФ..... | 14 |
| 4. Входные и выходные данные..... | 15 |
| 4.1. Параметры программы..... | 15 |
| 4.2. Используемые форматы..... | 15 |
| 4.3. Используемые массивы..... | 15 |
| 4.4. Входные данные программ БПФ..... | 16 |
| 4.5. Выходные данные программ БПФ..... | 18 |
| 4.5.1. Выходные комплексные спектры..... | 18 |
| 4.5.2. Выходные энергетические спектры..... | 19 |

1. НАЗНАЧЕНИЕ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММЫ

1.1. Назначение программы

Прикладная библиотека функций, осуществляющих быстрое преобразование Фурье, предназначена для использования на процессоре МС-24 серии «Мультикор». Набор функций позволяет осуществлять спектральный анализ действительных и комплексных сигналов, представленных в формате плавающей точки (стандарт IEEE 754), а также в формате блочной плавающей точки (fractional).

1.2. Условия применения программы

Библиотека LibFFT24 предназначена для использования на DSP-ядре EICore-24 и представляет собой файл с расширением «*.a», в котором находятся объектные файлы, содержащие готовый к линковке исполняемый код и данные.

Для подключения и использования библиотеки в проекте необходимо:

- 1) В диалоге *Tools > Settings >* для линкера DSP добавить директиву -L с указанием адреса библиотеки и её именем, заменяя обязательный префикс “lib” на префикс “l”:

(-IFFT24)

- 2) Вызов функции в программе DSP-ядра осуществляется инструкцией:

BS <имя функции>

- 3) Передача входных параметров осуществляется через конфигурационный массив, а также массивы данных. Там же перечислены и другие задействованные в вычислениях регистры.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОГРАММЫ

2.1. Состав библиотеки

Формат: плавающая точка (32 бита, IEEE-754). **Режим:** scalar.

2.1.1. Прямое БПФ, $N=4^S \cdot 1(8)$. Комплексный прямой вход, 2-инверсный выход, с замещением

Опции: 1) прямой выход без замещения; 2) энергетический спектр.

| | | | |
|---|------|------|-------|
| Размер преобразования, N | 256 | 512 | 1024 |
| Количество тактов на исполнение алгоритма | 4679 | 9357 | 21950 |

| | |
|--|-----------------------|
| Метка начала подпрограммы инициализации | inifl_Dir_Complex |
| Метка конца подпрограммы инициализации | xgenfl_Dir_Complex |
| Метка начала главной подпрограммы | xgenfl_Dir_Complex |
| Метка конца главной подпрограммы | inifl_Dir_Complex_End |
| Метка начала массива коэффициентов для вычисления синуса | Cpolfl_Dir_Complex |

2.1.2. Прямое БПФ, $N=4^S \cdot 1(8)$. Комплексный 2-инверсный вход, прямой выход, с замещением.

Опция: 1) энергетический спектр.

| | | | |
|---|------|------|-------|
| Размер преобразования, N | 256 | 512 | 1024 |
| Количество тактов на исполнение алгоритма | 5398 | 9773 | 26215 |

| | |
|--|-----------------------|
| Метка начала подпрограммы инициализации | inifl_Rev_Complex |
| Метка конца подпрограммы инициализации | xgenfl_Rev_Complex |
| Метка начала главной подпрограммы | xgenfl_Rev_Complex |
| Метка конца главной подпрограммы | inifl_Rev_Complex_End |
| Метка начала массива коэффициентов для вычисления синуса | Cpolfl_Rev_Complex |

2.1.3. Обратное БПФ, $N=4^S \cdot 1(8)$. Комплексный 2-инверсный вход, прямой выход, с замещением.

| | | | |
|---|------|-------|-------|
| Размер преобразования, N | 256 | 512 | 1024 |
| Количество тактов на исполнение алгоритма | 5415 | 10343 | 26226 |

| | |
|--|-------------------------|
| Метка начала подпрограммы инициализации | I_inifl_Rev_Complex |
| Метка конца подпрограммы инициализации | I_xgenfl_Rev_Complex |
| Метка начала главной подпрограммы | I_xgenfl_Rev_Complex |
| Метка конца главной подпрограммы | I_inifl_Rev_Complex_End |
| Метка начала массива коэффициентов для вычисления синуса | I_Cpolfl_Rev_Complex |

2.1.4. Обратное БПФ, $N=4^S \cdot 1(8)$. Комплексный прямой вход, 2-инверсный выход, с замещением.

Опция: прямой выход без замещения.

| | | | |
|---|------|------|-------|
| Размер преобразования, N | 256 | 512 | 1024 |
| Количество тактов на исполнение алгоритма | 4611 | 9355 | 22290 |

| | |
|--|-------------------------|
| Метка начала подпрограммы инициализации | I_inifl_Dir_Complex |
| Метка конца подпрограммы инициализации | I_xgenfl_Dir_Complex |
| Метка начала главной подпрограммы | I_xgenfl_Dir_Complex |
| Метка конца главной подпрограммы | I_inifl_Dir_Complex_End |
| Метка начала массива коэффициентов для вычисления синуса | I_Cpolfl_Dir_Complex |

2.1.5. Прямое БПФ, $N=4^S \cdot 1(8)$. Действительный прямой вход, прямой выход, без замещения.

Опция: энергетический спектр.

| | | | |
|---|------|-------|-------|
| Размер преобразования, N | 256 | 512 | 1024 |
| Количество тактов на исполнение алгоритма | 6615 | 13212 | 30266 |

| | |
|--|---------------------|
| Метка начала подпрограммы инициализации | inifl_Dir_1real |
| Метка конца подпрограммы инициализации | xgenfl_Dir_1real |
| Метка начала главной подпрограммы | xgenfl_Dir_1real |
| Метка конца главной подпрограммы | inifl_Dir_1real_End |
| Метка начала массива коэффициентов для вычисления синуса | Cpolfl_Dir_1real |

2.1.6. Прямое БПФ, $N=4^S \cdot 1(8)$. Два действительных прямых входа, два прямых выхода, без замещения.

Опция: энергетические спектры.

| | | | |
|---|------|-------|-------|
| Размер преобразования, N | 256 | 512 | 1024 |
| Количество тактов на исполнение алгоритма | 5957 | 11914 | 27668 |

| | |
|--|---------------------|
| Метка начала подпрограммы инициализации | inifl_Dir_2real |
| Метка конца подпрограммы инициализации | xgenfl_Dir_2real |
| Метка начала главной подпрограммы | xgenfl_Dir_2real |
| Метка конца главной подпрограммы | inifl_Dir_2real_End |
| Метка начала массива коэффициентов для вычисления синуса | CPol_Dir_2real |

Формат: *блочная плавающая точка (16+j16) бит (энергия 32 бита). Режим: scalar.*

2.1.7. Прямое БПФ, $N=4^S \cdot 1(8)$. Комплексный прямой вход, 2-инверсный выход, с замещением.

Опции: 1) прямой выход без замещения; 2) энергетический спектр.

| | | | |
|---|-----|-----|------|
| Размер преобразования, N | 256 | 512 | 1024 |
| Количество тактов на исполнение алгоритма | | | |

| | |
|--|-----------------------|
| Метка начала подпрограммы инициализации | inifr_Dir_Complex |
| Метка конца подпрограммы инициализации | xgenfr_Dir_Complex |
| Метка начала главной подпрограммы | xgenfr_Dir_Complex |
| Метка конца главной подпрограммы | inifr_Dir_Complex_End |
| Метка начала массива коэффициентов для вычисления синуса | Cpolfr_Dir_Complex |

2.1.8 Прямое БПФ, $N=4^S \cdot 1(8)$. Комплексный 2-инверсный вход, прямой выход, с замещением.

Опция: энергетический спектр.

| | | | |
|---|------|------|-------|
| Размер преобразования, N | 256 | 512 | 1024 |
| Количество тактов на исполнение алгоритма | 2435 | 4552 | 11599 |

| | |
|--|-----------------------|
| Метка начала подпрограммы инициализации | inifr_Rev_Complex |
| Метка конца подпрограммы инициализации | xgenfr_Rev_Complex |
| Метка начала главной подпрограммы | xgenfr_Rev_Complex |
| Метка конца главной подпрограммы | inifr_Rev_Complex_End |
| Метка начала массива коэффициентов для вычисления синуса | Cpolfr_Rev_Complex |

2.1.9. Обратное БПФ, $N=4^S \cdot 1(8)$. Комплексный 2-инверсный вход, прямой выход, с замещением.

| | | | |
|---|------|------|-------|
| Размер преобразования, N | 256 | 512 | 1024 |
| Количество тактов на исполнение алгоритма | 2430 | 4547 | 11594 |

| | |
|--|-------------------------|
| Метка начала подпрограммы инициализации | I_inifr_Rev_Complex |
| Метка конца подпрограммы инициализации | I_xgenfr_Rev_Complex |
| Метка начала главной подпрограммы | I_xgenfr_Rev_Complex |
| Метка конца главной подпрограммы | I_inifr_Rev_Complex_End |
| Метка начала массива коэффициентов для вычисления синуса | I_Cpolfr_Rev_Complex |

2.1.10. Обратное БПФ, $N=4^S \cdot 1(8)$. Комплексный прямой вход, 2-инверсный выход, с замещением.

Опция: прямой выход без замещения.

| | | | |
|---|------|------|-------|
| Размер преобразования, N | 256 | 512 | 1024 |
| Количество тактов на исполнение алгоритма | 2561 | 4865 | 12362 |

| | |
|--|-------------------------|
| Метка начала подпрограммы инициализации | I_inifr_Dir_Complex |
| Метка конца подпрограммы инициализации | I_xgenfr_Dir_Complex |
| Метка начала главной подпрограммы | I_xgenfr_Dir_Complex |
| Метка конца главной подпрограммы | I_inifr_Dir_Complex_End |
| Метка начала массива коэффициентов для вычисления синуса | I_Cpolfr_Dir_Complex |

2.1.11. Прямое БПФ, $N=4^S \cdot 1(8)$. Действительный прямой вход, прямой выход, без замещения.

Опция: энергетический спектр.

| | | | |
|---|------|------|-------|
| Размер преобразования, N | 256 | 512 | 1024 |
| Количество тактов на исполнение алгоритма | 3742 | 7197 | 16000 |

| | |
|--|---------------------|
| Метка начала подпрограммы инициализации | inifr_Dir_1real |
| Метка конца подпрограммы инициализации | xgenfr_Dir_1real |
| Метка начала главной подпрограммы | xgenfr_Dir_1real |
| Метка конца главной подпрограммы | inifr_Dir_1real_End |
| Метка начала массива коэффициентов для вычисления синуса | Cpolfr_Dir_1real |

2.1.12. Прямое БПФ, $N=4^S \cdot 1(8)$. Два действительных прямых входа, два прямых выхода, без замещения.

Опция: энергетические спектры.

| | | | |
|---|------|------|-------|
| Размер преобразования, N | 256 | 512 | 1024 |
| Количество тактов на исполнение алгоритма | 3344 | 6415 | 15449 |

| | |
|--|---------------------|
| Метка начала подпрограммы инициализации | inifr_Dir_2real |
| Метка конца подпрограммы инициализации | xgenfr_Dir_2real |
| Метка начала главной подпрограммы | xgenfr_Dir_2real |
| Метка конца главной подпрограммы | inifr_Dir_2real_End |
| Метка начала массива коэффициентов для вычисления синуса | Cpolfr_Dir_2real |

2.1.13. Прямое БПФ, $N=4^S \cdot 1(8)$. Два действительных 2-инверсных входа, два прямых выхода, с замещением.

| | | | |
|---|------|------|-------|
| Размер преобразования, N | 256 | 512 | 1024 |
| Количество тактов на исполнение алгоритма | 2935 | 5564 | 13571 |

| | |
|--|---------------------|
| Метка начала подпрограммы инициализации | inifr_Rev_2real |
| Метка конца подпрограммы инициализации | xgenfr_Rev_2real |
| Метка начала главной подпрограммы | xgenfr_Rev_2real |
| Метка конца главной подпрограммы | inifr_Rev_2real_End |
| Метка начала массива коэффициентов для вычисления синуса | Cpolfr_Rev_2real |

2.2. Подпрограммы 2-инверсного переупорядочения

2.2.1 2-инверсное переупорядочение $N=4^S$. Комплексный вход и выход с замещением. Формат плавающая точка (32 бита, IEEE-754).

| | |
|---------------------------|------------------|
| Метка начала подпрограммы | FFTFLLPermut |
| Метка конца подпрограммы | FFTFLLPermut_End |

| | | | |
|---|------|------|------|
| Размер массива, N | 256 | 512 | 1024 |
| Количество тактов на исполнение алгоритма | 1022 | 2305 | 4224 |

2.2.2 2-инверсное переупорядочение $N=4^S$. Комплексный вход и выход с замещением. Формат блочная плавающая точка (16+j16)

| | |
|---------------------------|-----------------|
| Метка начала подпрограммы | FFTFrPermut |
| Метка конца подпрограммы | FFTFrPermut_End |

| | | | |
|---|-----|------|------|
| Размер массива, N | 256 | 512 | 1024 |
| Количество тактов на исполнение алгоритма | 588 | 1193 | 2188 |

2.3. Назначение функций

Для ускорения циклической обработки нескольких массивов входных данных, каждый из алгоритмов БПФ (ОБПФ), входящих в библиотеку, состоит из двух функций.

Первая функция – инициализирующая. Генерирует массив поворачивающих векторов в памяти YRAM DSP.

Вторая функция – главная. В ней реализован алгоритм БПФ или ОБПФ.

2.3.1 Декодирование имен функций

Из имени функции, входящей в библиотеку, можно понять о ее функциональном назначении. Ниже приведен перечень и расшифровка составных частей имен функций.

I – функция относится к программе, выполняющей обратное быстрое преобразование Фурье. Если в имени отсутствует “T” – функция выполняет прямое БПФ;

fl – формат входных, выходных данных и поворачивающих коэффициентов – стандартная плавающая точка (стандарт IEEE - 754);

fr – формат входных, выходных данных и поворачивающих коэффициентов – блочная плавающая точка (fractional);

Dir – прямой порядок следования входных отсчетов;

Rev – двоично-инверсный порядок следования входных отсчетов;

Complex – функция выполняет прямое (обратное) быстрое преобразование Фурье над комплексным входным сигналом (спектром);

1real – функция выполняет прямое быстрое преобразование Фурье над одним действительным входным сигналом;

2real – функция выполняет прямое быстрое преобразование Фурье над двумя действительными входными сигналами;

ini – функция выполняет инициализационную часть соответствующего алгоритма (функции не имеющие данного суффикса, выполняют главную часть программы БПФ/ОБПФ);

xgen – главная функция, в ней реализован алгоритм преобразования.

2.3.2 Описание параметров, передаваемых в функции

Для настройки работы функций преобразований необходимо в памяти XRAM DSP сформировать конфигурационный массив. В него входят следующие параметры.

FFTSize – размер преобразования, количество комплексных (действительных) отсчетов в исходном сигнале (сигналах) или спектре сигнала (сигналов).

Power – с помощью этого параметра программист может выбрать, в каком виде следует получать выходные результаты: в виде комплексного спектра сигнала, или в виде энергетических характеристик гармоник. Параметру присваивается значение “0” или “1”.

WAddress – словный 16-разрядный адрес начала массива поворачивающих векторов в памяти YRAM DSP.

XAddress – словный 16-разрядный адрес начала массива исходных данных в памяти XRAM DSP.

ZAddress – словный 16-разрядный адрес начала дополнительного массива данных в памяти XRAM DSP.

DirectOutput – с помощью этого параметра программист может выбрать, в каком порядке следования необходимо получать выходные результаты – двоично-инверсный или прямой.

Параметру присваивается значение “0” или “1”.

“0” – двоично-инверсный порядок следования выходных результатов;

“1” – прямой порядок следования выходных результатов;

Примечание. Дополнительный массив Z используется в тех случаях, когда необходимо получить на выходе прямой порядок следования результатов, или вычислить энергетические характеристики гармоник. В случае если на вход программы БПФ подаются данные в двоично-инверсном порядке следования, массив Z не используется, так как выходной порядок следования результатов всегда прямой. Тогда БПФ/ОБПФ выполняются “на месте”.

В таблице 1 представлена информация о необходимости инициализации элементов конфигурационного массива для выполнения главных функций каждого алгоритма. Элементы конфигурационного массива, не описанные в таблице 1, обязательны для заполнения. Для соответствующих инициализирующих функций алгоритмов – требования по аналогичные.

Таблица 1. Таблица заполнения конфигурационного массива для главных функций алгоритмов, входящих в библиотеку.

| Имя функции | Power | Zaddress | DirectOutput |
|----------------------|-------|----------|--------------|
| xgenfl_Dir_1real | + | + | - |
| xgenfl_Dir_2real | + | + | - |
| xgenfl_Dir_Complex | + | * | + |
| xgenfl_Rev_Complex | + | - | - |
| I_xgenfl_Dir_Complex | - | * | + |
| I_xgenfl_Rev_Complex | - | - | - |
| xgenfr_Dir_1real | + | + | - |
| xgenfr_Dir_2real | + | + | - |
| xgenfr_Dir_Complex | + | * | - |
| xgenfr_Rev_2real | + | - | - |
| xgenfr_Rev_Complex | + | - | - |
| I_xgenfr_Dir_Complex | - | * | - |
| I_xgenfr_Rev_Complex | - | - | - |

“+” - поле обязательно для инициализации.

“-” - поле не обязательно для инициализации.

“*” - значение поля необходимо задать, если Power = 1 или DirectOutput = 1.

2.3.3 Рекомендации по размещению данных в DSP.

Массив исходных данных и дополнительный массив, располагаются в памяти XRAM. Их размеры одинаковы и равны $2 \cdot N$ для комплексных и двух действительных сигналов, $4 \cdot N$ для двух комплексных сигналов и N – для одного действительного сигнала.

Массив поворачивающих векторов размещается только в памяти YRAM, его размер равен $3 \cdot (\frac{N}{4} - 1)$ для комплексных и двух действительных сигналов, и $3 \cdot (\frac{N}{8} - 1)$ – для одного действительного сигнала.

Массив исходных данных размещается только в области ограниченной адресами XRAM_START и YRAM_START.

Начальный адрес массива исходных данных и дополнительного должны быть выровнены таким образом, чтобы $k = \log_2(H)$, были равны 0.

Дополнительный массив размещается на интервале адресов от XRAM_START до XRAM_END.

Для эффективной работы функций БПФ с большими объемами исходных данных рекомендуется в программах, требующих использования дополнительного массива, вычислять начальный адрес ZAddress по формуле:

$$ZAddress = YRAM_START - XRAM_START,$$

где XRAM_START и YRAM_START – начальные 16-разрядные словные адреса соответственно XRAM и YRAM.

Гибкость использования библиотечных функций достигается за счет того, что программист может располагать данные по своему усмотрению, используя рекомендации, изложенные выше. Таким образом, можно не удалять нужные данные, хранящиеся в XRAM DSP.

При запуске программы в режиме 2SIMD размеры становятся в 2 раза больше.

2.4 Описание работы инициализирующих функций

Работа программ БПФ начинается с вызова функции инициализации. Работа данных функций в общем случае аналогична для всех программ преобразований, входящих в библиотеку. В них генерируется таблица поворачивающих векторов в памяти YRAM DSP.

Для преобразования одного действительного сигнала также генерируется еще и вспомогательная таблица.

Каждый из алгоритмов, входящих в библиотеку, можно использовать для обработки двух потоков данных в режиме 2SIMD. Для этого необходимо перед вызовом функции включить режим 2SIMD (в регистре SR выставить бит номер 15). Более подробно подготовительные операции перед вызовом инициализирующих и главных функций будут рассмотрены в пункте 2.5.

2.5 Описание работы главных функций преобразования

Задачей главной функции является исполнение программы преобразования.

2.6 Инициализация регистров управления и конфигурационного массива перед запуском работы программ преобразований

Перед вызовом инициализирующей функции необходимо:

1) Передать в память XRAM DSP массив для вычисления синуса. Затем установить значение адресного регистра A6 равным начальному адресу массива для вычисления синуса. Данный массив содержит 6 элементов в формате float.

2) Сформировать в памяти данных DSP конфигурационный массив. Вид этого массива описан в пункте 4.1 этого документа. Затем установить значение адресного регистра A7 равным начальному адресу конфигурационного массива. Для БПФ одного действительного сигнала необходимо в FFTSize передать количество отсчетов, деленное на 2.

3) Выполнить переход на подпрограмму инициализации (команда BS, JS).

Примечание. Если программа запускается в режиме 2SIMD, нужно каждое значение конфигурационного массива и массива для вычисления синуса продублировать в каждую секцию ALU DSP. Кроме того, адреса, которые записываются в регистры A6 и A7, необходимо поделить на два (переход на 2SIMD-адресацию).

Перед вызовом главной функции необходимо:

- 1) Установить значение адресного регистра A7 равным начальному адресу конфигурационного массива.
- 2) Установить бит YM в регистре SR равным 1.
- 3) Выполнить переход на главную подпрограмму (команда BS, JS).

Массив для вычисления синуса объявлен в программе DSP, в секции данных.

3. ОБРАЩЕНИЕ К ПРОГРАММЕ

3.1. Подключение библиотеки

Файл библиотеки называется libFFT24.a.

3.2. Обращение к подпрограммам 2-инверсного переупорядочения

Для вызова подпрограммы 2-инверсного переупорядочения необходимо в 32-разрядный регистр R2 передать значение:

$R2 \{[31..16],[15..0]\} = \{ @x, N \}$, где

@x – адрес массива для переупорядочения

N-количество элементов в массиве. Каждый элемент массива – комплексное число.

Для формата с плавающей точкой (32 бита, IEEE-754) один элемент – два 32-разрядных слова. Для формата блочной плавающей точки (16+16j) один элемент – одно 32-разрядное слово.

Для 2-инверсного переупорядочения массива в формате плавающей точки (32 бита, IEEE-754) вызов подпрограммы осуществляется по метке FFTFLPermut. Для 2-инверсного переупорядочения массива в формате блочной плавающей точки (16+16j) – по метке FFTFrPermut.

3.3. Пример написания программы с использованием библиотечных функций БПФ

Для ускорения циклической обработки нескольких массивов входных данных, каждый из алгоритмов БПФ, входящих в библиотеку, состоит из двух функций.

Первая функция – инициализирующая. Генерирует массив поворачивающих векторов в памяти YRAM DSP. Вторая функция – главная. Она реализует алгоритм БПФ или ОБПФ.

Пример использования в программе DSP функций БПФ (ОБПФ), обрабатывающих комплексный сигнал, представлен в листинге 1. Данный код реализует подготовку конфигурационного массива в DSP, а затем переход на сначала на подпрограмму инициализации, а затем на главную подпрограмму.

```

MOVE 0x8f00,R2      /*Адрес конфигурационного массива*/
MOVE R2,A7
MOVE 64,R0          /*Размер преобразования*/
MOVE 0,R1           /*Не вычислять энергетический спектр (p=0) */
MOVE R0,(A7)+
MOVE 0x6000,R0      /*Адрес начала массива поворачивающих
векторов*/
MOVE R0,(A7)+
MOVE 0x0,R0         /*Адрес начала массива входных данных*/
MOVE R0,(A7)+
MOVE 0x400,R0       /*Адрес начала вспомогательного массива*/
MOVE R0,(A7)+
MOVE 1,R0           /*Выход прямой*/
MOVE R0,(A7)+
MOVE 0x8fe8,R0      /*Адрес массива, для вычисления синуса*/
MOVE R0,A6
CLR R0 R2,A7
MOVE R0,SR

/*Переход на подпрограмму инициализации*/
BS inifl_Dir_Complex

MOVE 0x800,SR
MOVE 0x8f00,R2
MOVE R2,A7
/*Переход на главную подпрограмму*/
BS xgenfl_Dir_Complex
STOP
NOP

```

Листинг 1. Пример использования библиотечных функции БПФ/ОБПФ в программе DSP.

4. ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ

4.1. Параметры программы

Программы БПФ используют восемь параметров. Они размещаются в 5-словном массиве XRAM по адресу pParFFT. Начальный адрес pParFFT содержится в регистре AGU A7. В таблице 1. представлено размещение конфигурационного массива в памяти XRAM DSP.

Таблица 2. Размещение конфигурационного массива в памяти XRAM DSP.

| Обозначение | Примечание |
|--------------------------|------------------|
| pParFFT [0] {31:16,15:0} | {p,N} |
| pParFFT [1] {31:16,15:0} | {Lc,W} |
| pParFFT [2] {31:16,15:0} | {id, X} |
| pParFFT [3] {31:16,15:0} | {0,Z} |
| pParFFT [4] {31:16,15:0} | {0,DirectOutput} |

N - размер преобразования;

p - вид выходного спектра (0 - комплексный, 1 - энергетический);

X - начальный адрес массива данных в XRAM;

Z - начальный адрес вспомогательного массива в XRAM;

W - начальный адрес табличного массива в YRAM;

DirectOutput – указывает порядок следования выходных результатов (прямой или двоично-инверсный)

Lc, id – служебные.

4.2. Используемые форматы

Формат входных данных для подпрограмм, содержащих в своем названии fl – 32-разрядный, плавающая точка (стандарт IEEE-754). Формат вычислений и выходных результатов – 32-разрядный, плавающая точка (стандарт IEEE-754).

Формат входных данных для подпрограмм, содержащих в своем названии fr – блочная плавающая точка (fractional). Формат вычислений и выходных результатов – блочная плавающая точка (fractional).

4.3. Используемые массивы

X[] – массив данных.

Для комплексного сигнала, а также двух действительных, размер массива равен $2 \cdot N$. Для двух комплексных сигналов размер равен $4 \cdot N$. Для программы БПФ одного действительного сигнала массив X имеет размер N.

Z[] – вспомогательный массив. Для комплексного сигнала, а также двух действительных, размер массива равен $2 \cdot N$. Для двух комплексных сигналов размер равен $4 \cdot N$. Для программы БПФ одного действительного сигнала массив X имеет размер N. Для программ свертки и корреляции размер равен $2 \cdot N$.

W[3N/4-1] – тригонометрическая таблица.

Массив для вычисления синуса объявлен в программе DSP, в секции данных:

```
.data
X_CpolXX_XXXXX:
    .real -0.3425247e-5 ; C10
    .real 0.79692592e-1 ; C4
    .real 0.16023388e-3 ; C8
    .real -0.64596409 ; C2
    .real -0.46816341e-2 ; C6
    .real 0.15707964e+1 ; C0
```

Примечание 1. N – количество 32-разрядных слов для обработки в формате плавающей точки (IEEE-754), а для обработки в формате блочной плавающей точки – N равно количеству 16-разрядных слов.

Примечание 2. Для каждого из алгоритмов преобразований, входящих в библиотеку, используется своя метка для доступа к данным из массива для вычисления синуса. Соответствие имени метки алгоритму, описано в пункте 2.1 данного документа.

Примечание 3. Для БПФ одного действительного сигнала необходим вспомогательный массив в памяти YRAM. Он размещается по адресам сразу после тригонометрической таблицы. Его размер равен N/4.

Массивы X[] и Z[] размещаются в XRAM, W[] – в YRAM.

4.4. Входные данные программ БПФ

До преобразования массив X содержит входные данные – отсчеты исходного сигнала (комплексные спектры), после преобразования «на месте» – выходные результаты – спектры Фурье (энергетические характеристики спектра) или комплексный сигнал. Если же преобразование выполняется «не на месте», выходные результаты размещаются в массиве Z – для преобразований комплексных входных данных, либо в массиве X – для вещественных преобразований.

В нижеследующих таблицах представлено размещение входных данных для преобразований при прямом порядке следования отсчетов. При двоично-инверсном порядке следования отсчетов входного сигнала (спектра), положение отсчета в памяти изменяется по правилу двоичной инверсии.

Таблица 3. Входной массив отсчетов комплексного сигнала для выполнения прямого БПФ.

| Ячейки памяти с четным адресом (SIMD 0) | Содержимое ячейки памяти | Ячейки памяти с нечетным адресом (SIMD 1) | Содержимое ячейки памяти |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| X[0] {31:0} | {Re X[0]} | X[1] {31:0} | {Im X[0]} |
| X[2] {31:0} | {Re X[1]} | X[3] {31:0} | {Im X[1]} |
| --- | --- | --- | --- |
| X[2N-2] {31:0} | {Re X[N-1]} | X[2N-1] {31:0} | {Im X[N-1]} |

Таблица 4. Входной массив отсчетов одного действительного сигнала для выполнения прямого БПФ:

| Ячейки памяти с четным адресом (SIMD 0) | Содержимое ячейки памяти | Ячейки памяти с нечетным адресом (SIMD 1) | Содержимое ячейки памяти |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| X[0] {31:0} | {Re X[0]} | X[1] {31:0} | {Re X[1]} |
| X[2] {31:0} | {Re X[2]} | X[3] {31:0} | {Re X[3]} |
| --- | --- | --- | --- |
| X[N-2] {31:0} | {Re X[N-2]} | X[N-1] {31:0} | {Re X[N-1]} |

Таблица 5. Входной массив отсчетов двух действительных сигналов X1 и X2 для выполнения прямого БПФ

| Ячейки памяти с четным адресом (SIMD 0) | Содержимое ячейки памяти | Ячейки памяти с нечетным адресом (SIMD 1) | Содержимое ячейки памяти |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| X[2] {31:0} | {Re X1[1]} | X[3] {31:0} | {Re X2[1]} |
| --- | --- | --- | --- |
| X[2N-2] {31:0} | {Re X1[N-1]} | X[2N-1] {31:0} | {Re X2[N-1]} |

Таблица 6. Входной массив комплексного спектра для выполнения обратного БПФ:

| Ячейки памяти с четным адресом (SIMD 0) | Содержимое ячейки памяти | Ячейки памяти с нечетным адресом (SIMD 1) | Содержимое ячейки памяти |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| X[2] {31:0} | {Re X[1]} | X[3] {31:0} | {Im X[1]} |
| --- | --- | --- | --- |
| X[2N-2] {31:0} | {Re X[N-1]} | X[2N-1] {31:0} | {Im X[N-1]} |

Таблица 7. Входной массив отсчетов комплексного сигнала (спектра) для выполнения прямого БПФ (ОБПФ), формат данных – блочная плавающая точка

| Ячейки памяти с четным адресом (SIMD 0) | Содержимое ячейки памяти | Ячейки памяти с нечетным адресом (SIMD 1) | Содержимое ячейки памяти |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| X[0] {31:0} | {Re X[0], Im X[0]} | X[1] {31:0} | {Re X[1], Im X[1]} |
| X[2] {31:0} | {Re X[2], Im X[2]} | X[3] {31:0} | {Re X[3], Im X[3]} |
| --- | --- | --- | --- |
| X[N-2] {31:0} | {Re X[N-2], Im X[N-2]} | X[N-1] {31:0} | {Re X[N-1], Im X[N-1]} |

Таблица 8. Входной массив отсчетов двух действительных сигналов для выполнения прямого БПФ, формат данных – блочная плавающая точка

| Ячейки памяти с четным адресом (SIMD 0) | Содержимое ячейки памяти | Ячейки памяти с нечетным адресом (SIMD 1) | Содержимое ячейки памяти |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| X[0] {31:0} | {Re X[0], Re Y[0]} | X[1] {31:0} | {Re X[1], Re Y[1]} |
| X[2] {31:0} | {Re X[2], Re Y[2]} | X[3] {31:0} | {Re X[3], Re Y[3]} |
| --- | --- | --- | --- |
| X[N-2] {31:0} | {Re X[N-2], Re Y[N-2]} | X[N-1] {31:0} | {Re X[N-1], Re Y[N-1]} |

Таблица 9. Входной массив отсчетов одного действительного сигнала для выполнения прямого БПФ, формат данных – блочная плавающая точка

| Ячейки памяти с четным адресом (SIMD 0) | Содержимое ячейки памяти | Ячейки памяти с нечетным адресом (SIMD 1) | Содержимое ячейки памяти |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| X[0] {31:0} | {Re X[0], Re X[1]} | X[1] {31:0} | {Re X[2], Re X[3]} |
| X[2] {31:0} | {Re X[4], Re X[5]} | X[3] {31:0} | {Re X[6], Re X[7]} |
| --- | --- | --- | --- |
| X[N/2-2] {31:0} | {Re X[N-4], Re X[N-3]} | X[N/2-1] {31:0} | {Re X[N-2], Re X[N-1]} |

4.5 Выходные данные программ БПФ

Выходные результаты могут быть комплексными спектрами, либо действительными энергетическими спектрами.

4.5.1 Выходные комплексные спектры

Выходной порядок следования комплексных спектров выбирается программистом посредством задания параметра DirectOutput. Выходные массивы размещены в памяти следующим образом:

Таблица 10. Выходной массив комплексного спектра (сигнала), прямой порядок следования.

| Ячейки памяти с четным адресом (SIMD 0) | Содержимое ячейки памяти | Ячейки памяти с нечетным адресом (SIMD 1) | Содержимое ячейки памяти |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| X[2] {31:0} | {Re X[1]} | X[3] {31:0} | {Im X[1]} |
| --- | --- | --- | --- |
| X[2N-2] {31:0} | {Re X[N-1]} | X[2N-1] {31:0} | {Im X[N-1]} |

Таблица 11. Выходной массив комплексных спектров, прямой порядок следования (на вход подается один действительный сигнал), после выполнения прямого БПФ:

| Ячейки памяти с четным адресом (SIMD 0) | Содержимое ячейки памяти | Ячейки памяти с нечетным адресом (SIMD 1) | Содержимое ячейки памяти |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| X[2] {31:0} | {Re X[1]} | X[3] {31:0} | {Im X[1]} |
| --- | --- | --- | --- |
| X[N-2] {31:0} | {Re X[N/2-1]} | X[N-1] {31:0} | {Re X[N/2-1]} |

Таблица 12. Выходной массив комплексных спектров, прямой порядок следования (на вход подается 2 действительных сигнала X1 и X2), после выполнения прямого БПФ:

| Ячейки памяти с четным адресом (SIMD 0) | Содержимое ячейки памяти | Ячейки памяти с нечетным адресом (SIMD 1) | Содержимое ячейки памяти |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| X[2] | Re X1[1] | X[3] | Im X1[1] |
| --- | --- | --- | --- |
| X[N-2] | Re X1[N/2-1] | X[N-1] | Im X1[N/2-1] |
| X[N] | Re X2[0] | X[N+1] | Im X2[0] |
| X[N+2] | Re X2[1] | X[N+3] | Im X2[1] |
| --- | --- | --- | --- |
| X[2N-2] | Re X2[N/2-1] | X[2N-1] | Im X2[N/2-1] |

Таблица 13. Выходной массив отсчетов комплексного спектра после выполнения прямого БПФ, формат данных – блочная плавающая точка

| Ячейки памяти с четным адресом (SIMD 0) | Содержимое ячейки памяти | Ячейки памяти с нечетным адресом (SIMD 1) | Содержимое ячейки памяти |
|---|----------------------------|---|----------------------------|
| X[0] {31:0} | {Re X[0], Im X[0]} | X[1] {31:0} | {Re X[1], Im X[1]} |
| X[2] {31:0} | {Re X[2], Im X[2]} | X[3] {31:0} | {Re X[3], Im X[3]} |
| --- | --- | --- | --- |
| X[N/2-2] {31:0} | {Re X[N/2-2], Im X[N/2-2]} | X[N/2-1] {31:0} | {Re X[N/2-1], Im X[N/2-1]} |
| X[N/2] {31:0} | {Re Y[0], Im Y[0]} | X[N/2+1] {31:0} | {Re Y[1], Im Y[1]} |
| X[N/2+2] {31:0} | {Re Y[2], Im Y[2]} | X[N/2+3] {31:0} | {Re Y[3], Im Y[3]} |
| --- | --- | --- | --- |
| X[N-2] {31:0} | {Re Y[N/2-2], Im Y[N/2-2]} | X[N-1] {31:0} | {Re Y[N/2-1], Im Y[N/2-1]} |

4.5.2 Выходные энергетические спектры

Выходной порядок следования энергетических спектров – прямой.

Они размещаются в памяти следующим образом:

Таблица 14. Выходной массив энергетических спектров, прямой порядок следования (на вход подается комплексный сигнал), после выполнения прямого БПФ:

| Ячейки памяти с четным адресом (SIMD 0) | Содержимое ячейки памяти | Ячейки памяти с нечетным адресом (SIMD 1) | Содержимое ячейки памяти |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| $X[2] \{31:0\}$ | $\{Pw X[2]\}$ | $X[3] \{31:0\}$ | $\{Pw X[3]\}$ |
| --- | --- | --- | --- |
| $X[N-2] \{31:0\}$ | $\{Pw X[N-2]\}$ | $X[N-1] \{31:0\}$ | $\{Pw X[N-1]\}$ |

Таблица 15. Выходной массив энергетических спектров, прямой порядок следования (на вход подается действительный сигнал), после выполнения прямого БПФ:

| Ячейки памяти с четным адресом (SIMD 0) | Содержимое ячейки памяти | Ячейки памяти с нечетным адресом (SIMD 1) | Содержимое ячейки памяти |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| $X[2] \{31:0\}$ | $\{Pw X[2]\}$ | $X[3] \{31:0\}$ | $\{Pw X[3]\}$ |
| --- | --- | --- | --- |
| $X[N/2-2] \{31:0\}$ | $\{Pw X[N/2-2]\}$ | $X[N/2-1] \{31:0\}$ | $\{Pw X[N/2-1]\}$ |

Таблица 16. Выходной массив энергетических спектров, прямой порядок следования (на вход подается 2 действительных сигнала $X1$ и $X2$), после выполнения прямого БПФ:

| Ячейки памяти с четным адресом (SIMD 0) | Содержимое ячейки памяти | Ячейки памяти с нечетным адресом (SIMD 1) | Содержимое ячейки памяти |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| $X[2] \{31:0\}$ | $Pw X1[1]$ | $X[3] \{31:0\}$ | $Pw X1[1]$ |
| --- | --- | --- | --- |
| $X[N/2-2] \{31:0\}$ | $Pw X1[N/2-1]$ | $X[N/2-1] \{31:0\}$ | $Pw X1[N/2-1]$ |
| $X[N/2] \{31:0\}$ | $Pw X2[0]$ | $X[N/2+1] \{31:0\}$ | $Pw X2[0]$ |
| $X[N/2+2] \{31:0\}$ | $Pw X2[1]$ | $X[N/2+3] \{31:0\}$ | $Pw X2[1]$ |
| --- | --- | --- | --- |
| $X[N-2] \{31:0\}$ | $Pw X2[N/2-1]$ | $X[N-1] \{31:0\}$ | $Pw X2[N/2-1]$ |

