

ZX SDCC NOINIT

**Система сборки проектов для Z80 на базе
пакета SDCC**

Оглавление

Предупреждение.....	4
Введение.....	4
1.Как транслируется программа на С.....	5
1.1.Препроцессор.....	6
1.2.Компиляция.....	7
1.3.Ассемблирование.....	8
1.4.Линковка.....	8
1.5.Преобразования.....	9
1.6.Небольшой итог.....	9
2.Особенности SDCC.....	10
2.1.Линковка и секции линкера.....	10
2.2.Секции, создаваемые компилятором SDCC.....	11
2.3.Размещение машинного кода.....	11
2.4.Размещение переменных и констант.....	12
2.5.Секции абсолютной адресации.....	14
2.6.Секции кода инициализации времени выполнения.....	14
2.7.Стартовый код crt0*.s.....	14
3.Ассемблер в С и С в Ассемблере.....	16
3.1.Два способа совмещать С и Ассемблер.....	16
3.2.Соглашения об именах.....	16
3.3.Локальный или глобальный?.....	18
3.3.1.Объявление глобальных переменных и функций.....	18
3.3.2.Объявление локальных переменных и функций.....	19
3.3.3.Раздельная компиляция.....	19
3.3.4.Директивы встроенного ассемблера.....	19
3.4.Передача параметров в функцию.....	19
3.5.Передача параметров из функции.....	19
4.Структура каталогов SDCC-NOINIT.....	20
4.1.Каталог с исходными текстами apps.....	20
4.2.Каталог глобальной конфигурации configs.....	21
4.3.Каталог с общими заголовочными файлами include.....	22
4.4.Каталог с исходными текстами библиотек libsrc.....	22
4.5.Каталог со скриптами scripts.....	22
4.6.Каталог программ bin.....	24
4.7.Каталог библиотек libs.....	24
5.Сборка программы в SDCC-NOINIT.....	24
5.1.Конфигурация компонентов — библиотек и программа.....	24
5.2.Добавление новой программы в систему сборки.....	25
5.3.Добавление новой библиотеки в систему сборки.....	25
5.4.Файлы глобальной конфигурации.....	25
5.5.Файлы локальной конфигурации программ.....	25
5.6.Файлы локальной конфигурации WC-плагинов.....	25
5.7.Файлы начального запуска crt0*.s.....	25
5.8.Процесс сборки программы.....	25
5.9.Процесс сборки библиотеки.....	25
5.10.Сборочные скрипты.....	25
6.Описание библиотек.....	26
6.1.Библиотека файлов начального запуска crt0.....	26

6.2.Библиотека libc для ZX: libz80.....	26
6.3.Библиотека музыкальных плееров libay.....	26
6.4.Библиотека вывода на стандартный экран ZX libconio.....	26
6.5.Библиотека работы с прерываниями libim2.....	26
6.6.Библиотека работы с кольцевыми буферами libringbuf.....	26
6.7.Библиотека вывода спрайтов на стандартный экран ZX libspr.....	26
6.8.Библиотека работы с таймерами libtimer.....	26
6.9.Библиотека работы с UARTами libuart.....	26
6.10.Библиотека создания плагинов для WC libwcplugin.....	26
6.11.Библиотека работы с клавиатурой ZX libzxkbd.....	26
6.12.Библиотека работы с клавиатурой PS2 libps2.....	26

Нет неразрешимых проблем, есть неприятные решения.

Предупреждение

Автор ни в коем случае не считает свое мнение единственно правильным и может его изменить или дополнить под действием разумных аргументов.

Также я не претендую на истину в последней инстанции, не считаю себя великим разработчиком систем как для Z80, так и систем вообще.

Посему прошу простить и понять мои ошибки, неточности и прочие места, которые вам придется не по вкусу.

Если же вам есть, что сказать — то можно всегда написать мне об этом.

SfS, автор сего труда.

Введение

В далеких 90х практически единственным достойным средством разработки для ZX были ассемблеры. Их была масса. Они плодились и размножались.

На тех, кто пытался писать на С или Pascal — большинство кодеров смотрело как на детоубийц-некрофилов. Единственно, что не вызывало у кодеров тотальной брезгливости из ЯВУ (язык высокого уровня) для ZX — это был встроенный бейсик. И то с оговорками.

Но время шло. Катилось галактическое кольцо жизни по своей орбите, радиусом 27700 световых лет. За прошедшие с тех пор приблизительно 30 лет изменилось многое. Появились и канули в лету малиновые пиджаки и пейджеры. Расцвели и завяли радиобарахолки. Микросхемы серий 1533, 1554, 580 и других из дефицита превратились в бросовый товар, который можно получить почти бесплатно. Да и мы сами изменились. Из стройных выюношей превратились в не очень стройных мужчин. Обзавелись женами, детьми, любовницами, котами, собаками и рыбками. Но одно осталось у нас на всю жизнь — любовь к железкам, собранным своими руками, программам, написанным своей головой, музыкой и графикой, которая выжимает из 8 бит все, что только можно. Посему мы продолжаем пытаться изобретать что-то свое. Просто для удовольствия.

На фоне всех изменений пора бы измениться и взглядам на ЯВУ для ZX. Сегодня, наверное единственный свободный кросс-компилятор для ZX — это SDCC.

Так как это не майнстрим и разработкой его занимается совсем немного народа — то «особенностей», осложняющих жизнь в нем тьма тьмущая. Но, как говорить, «за неимением гербовой, будем писать на обычной».

Множество не очень удачных попыток использования sdcc привело меня к мысли, что без создания автоматизированной среды сборки, содержащей кучу скриптов, купирующих родовые недостатки SDCC, жизнь продолжаться не может.

Несколько вариантов различного подхода привели меня к созданию того, что называется в данный момент SDCC-NOINIT. Не спрашивайте, почему именно так. Сам не знаю.

1. Как транслируется программа на С

Чтобы понять почему что-то сделано так, а не иначе — надо разобраться как оно работает. Так что начнем издалека. Из глубины времен до нас дошел единственно правильный путь работы трансляторов ЯВУ. Тот самый путь, коего придерживаются разработчики с прошлого тысячелетия.

Пакет программ SDCC в этом смысле не отличается от других подобных пакетов программ — будь то GCC или IAR. Схему сборки любого проекта можно представить приблизительно в таком виде, как на рис.1.

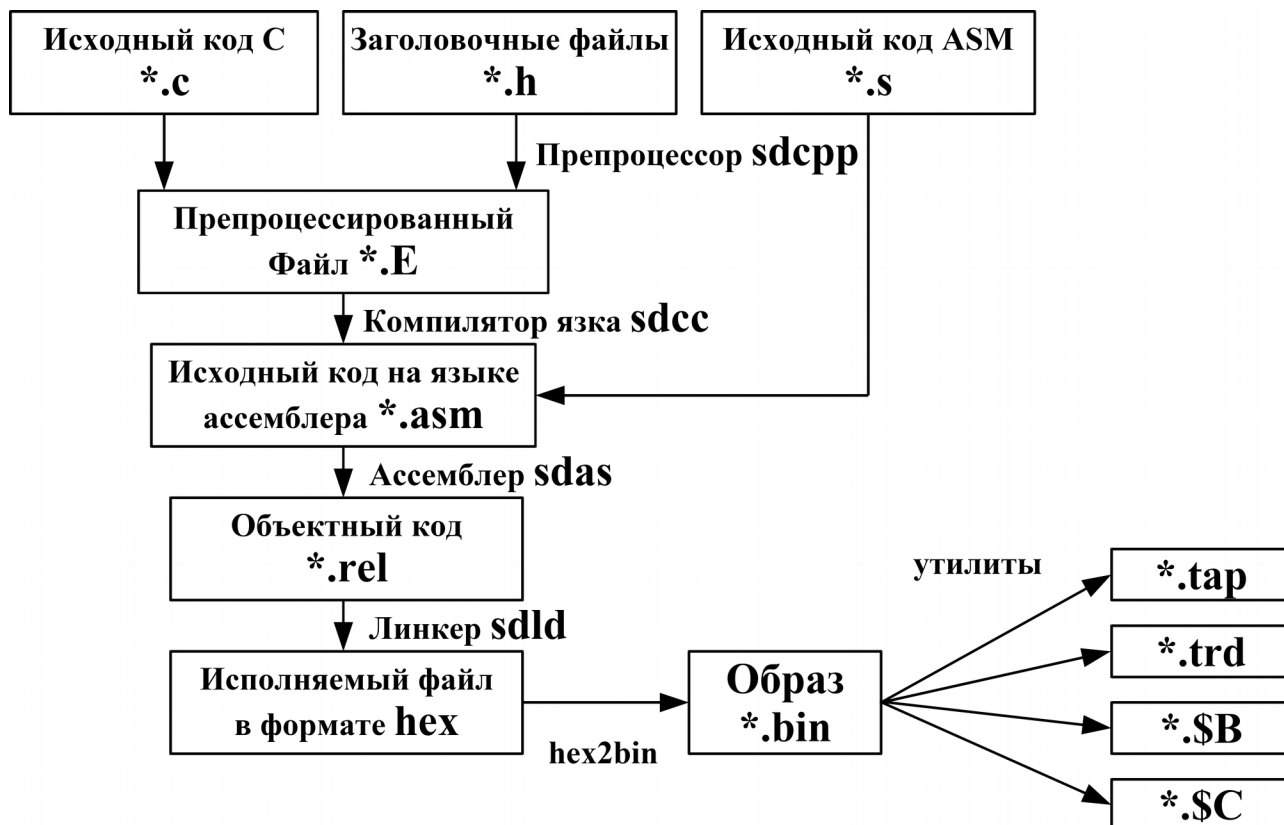


Рис. 1: Трансляция программы на языке С пакетом SDCC - от исходного кода до исполняемых файлов

Рассмотрим алгоритм, что видим мы на рис.1. Это основа основ. SDCC-NOINIT работает именно по этому алгоритму, дополняя его, но по сути не изменяя.

Рассмотрение алгоритма сделаем по возможности кратким, чтобы не погрязнуть в излишних технических подробностях. О них мы поговорим позже.

Итак, что у нас есть в начале? А в начале у нас есть слово. И слово это — на языках С и ассемблера, в файлах, что обычно носят расширения *.c, *.h и *.s.

Некоторые думают, что компилятор — это программа, которая из этих файлов делает бинарь. Они жестоко ошибаются! Чтобы получить бинарь — надо потеть несколькими программам по очереди, а то и не по одному разу.

Итак, что же происходит с файлами, что мы набрали в текстовом редакторе? Они передаются на программу-препроцессор, в нашем случае называемую **sdcpp**.

Что делает эта чудесная программа? Как ни удивительно, но она выполняет так называемые «директивы препроцессора».

Не пугайтесь этих загадочных слов. Что такое директива препроцессора? Это команда, начинающаяся со знака «решетка» (#), например `#define`, `#if`, `#ifdef`, `#ifndef`, `#endif`, `#include`.

Так вот — компилятор эти команды не понимает. Компилятору надо подать текст, очищенный от этих решеток. Иначе его может стошнить прямо на ваш дисплей. Некрасиво получится.

А вот как раз препроцессор никакие другие команды в тексте, кроме как начинающиеся с #, не интересуют. Поэтому директивы препроцессора с успехом можно использовать как в файлах на C, так и в файлах на языке ассемблера.

1.1. Препроцессор

На этой стадии, исходные тексты преобразуются в другие тексты в соответствии с директивами препроцессора. Рассмотрим очень коротко наиболее используемые директивы.

Самая важная, нужная, полезная и красивая из директив — это несомненно **`#define`**. Она позволяет заменять одно слово на другое.

Например, если у вас было написано:

```
// ... Что-то до
#define WIN_W 16
#define WIN_H 12

// ... Что-то после

clw(WIN_W, WIN_H);
```

то после препроцессора все директивы именованное его исчезнут, а на место определенных символов встанут их значения:

```
// ... Что-то до

// ... Что-то после
clw(16, 12);
```

Директивой **`#define`** можно определять и макросы.

Например, код

```
#define printat(x,y,s) \
    at(x,y); \
    printf(s);

printat(10,12,"String at 10,12");
```

после препроцессора даст

```
at(10,12);
printf("String at 10,12");
```

Определяя макросы — будьте внимательны. Если определять макросы через макросы можно такого наворотить... В общем — чтобы не по принципу «заставь дурака богу молиться».

Другая очень широко используемая и всем известная директива препроцессора — это **`#include`**. Она просто напосто вставляет указанный текстовый файл в указанное место.

Обычно это файлы с расширением ***.h**, в которых определены константы и макросы. Но вообще можно вставлять любые файлы. Если знаете что делаете, конечно.

С директивой **#include** надо помнить, что если имя файла взято в кавычки (**#include "file.h"**), то этот файл должен лежать в том же каталоге, что и компилируемый файл из которого происходит вызов директивы **#include**. Если же имя файла взято в угловые скобки (**#include <file.h>**), то препроцессор будет искать этот файл по всем, заданные опцией -I путям.

Ну и, наконец, если я не рассмотрю условные директивы — то покрою себя несмываемым позором. Условные директивы препроцессора — это директивы, которые могут вставлять или не вставлять в текст код, в зависимости от заданных условий.

Все они начинаются с **#if** (**#if**, **#ifdef**, **#ifndef**), и имеют, условно, такие формы: **«if-endif»**, **«if-else-endif»**, **«if-elif-endif»**, **«if-elif-else-endif»**.

Несколько образцов условных директив:

```
#if <условие>
    // код, включаемый если условие истинно
#endif

#ifdef SYMBOL
    // код, включаемый если символ SYMBOL определен
#endif

#ifndef SYMBOL
    // код, включаемый если символ SYMBOL не определен
#endif

#if <условие1>
    // код, включаемый если условие1 истинно
#elif <условие2>
    // код, включаемый если условие2 истинно, условие1 - ложно
#elif <условие3>
    // код, включаемый если условие3 истинно, условие1 и условие2 - ложны
#else
    // код, включаемый если все условия ложны
#endif
```

На этом закончим про препроцессор и вернемся к нему тогда, когда в этом будет необходимость. Если же кому хочется больше — то прошу в интернет по ссылке https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%A1%D0%B8#.D0.92.D1.81.D1.82.D0.B0.D0.B2.D0.BA.D0.B0_.D1.84.D0.B0.D0.B9.D0.BB.D0.BE.D0.B2_.28.29include.29.

Пока запомним лишь, что препроцессор — чистит файл от решеток и даёт компилятору «чистый текст» и перейдем к следующей стадии, которая называется «компиляция».

Заметим, что файлы, написанные на языке ассемблера (***.s**) сразу после препроцессора становятся ***.asm** файлами, а файлы, написанные на C - ***.c** файлами.

1.2. Компиляция

Компиляция — это перевод текста программы, написанной на ЯВУ и обработанной препроцессором в текст на языке ассемблера. Собственно этим и занимается часть транслятора, именуемая компилятором. Многие часто путают трансляцию и компиляцию. Не надо опускаться так низко. Трансляция — «от исходного текста до бинаря». А компиляция «от препроцессора до ассемблера».

Исходя из определения компиляции становится понятно, что файлы на языке ассемблера компилировать не надо. Ибо они и так уже на ассемблере.

Итак на вход компилятора подаются файлы на языке C с расширением *.Е, а на выходе получаются файлы на языке ассемблера с расширением *.asm.

Поскольку фронт-энд транслятора **sdcc** сам вызывает препроцессор и компилятор, то файлов с расширением *.Е мы как правило не видим. Да они нас обычно и не интересуют.

После стадии компиляции различие между исходниками на C (*.c) и ассемблере (*.s) исчезают — все они становятся безликими файлами *.asm, хоть и различными путями.

И это прекрасно, потому что следующая стадия у всех одна — ассемблирование.

Компилятор пакета **sdcc** так и называется — **sdcc**, что вносит некоторую путаницу. Но делать нечего — компилятор объединен с фронт-ендом.

1.3. Ассемблирование

Ассемблирование — это процесс преобразования файла с текстом на языке ассемблера в объектный файл. В нашем случае объектные файлы имеют расширение *.rel. Программа, которое совершает описанные зверства над ассембленными файлами носит название **sdas**.

Что же такое «объектный файл»? Зачем он нужен? А нужен он, чтобы собрать из кусочков всю программу и привязать ее к нужным абсолютным адресам памяти.

Каждый объектный файл хранит три основные сущности: глобальные символы, откомпилированный объектный код и таблицу перемещения.

Глобальные символы — это символы, которые доступны из всех объектных файлов проекта. В противоположность им есть локальные символы, которые доступны только в пределах одного файла (не путайте их с локальными переменными, которые доступны только в пределах скобок {}!).

Откомпилированный объектный код — это исполняемый двоичный код с одним нюансом — вместо абсолютных адресов в нем указаны относительные. А для преобразования относительных адресов в абсолютные как раз и используется таблица перемещения.

На этом прервем, но не завершим пока рассказ об ассемблировании и перейдем к завершающей стадии сборки проекта — линковке.

1.4. Линковка

Линковка — это по сути процесс размещения объектных файлов по заданным абсолютным адресам.

Программе линкеру **sdld** передается такой ключевой параметр как адрес начала бинарного кода. И далее линкер размещает все объектные файлы, начиная с этого адреса. В процессе размещения каждого файла, линкер рассчитывает абсолютные адреса всех его символов и подставляет их на соответствующие места в файле.

Таким образом, в результате линковки получается некий «образ памяти», начиная с указанного адреса. Если полученный образ поместить в память с адреса начала бинарного кода и передать ему управление — то наша программа начнет выполняться.

В **SDCC** есть нюанс — линкер генерирует выходные файлы в текстовом формате intel hex. Для запуска же нам нужен двоичный код. Но утилита **hex2bin** без труда позволяет нам решить эту проблему.

1.5. Преобразования

Поскольку, бинарный файл не удобен тем, что в нем нет информации с какого адреса его грузить, да и вообще никакой дополнительной информации, то его преобразуют обычно в один из понимаемых ZX форматов - ***.tap**, ***.trd** или **Hobeta**.

Сам бинарь при этом не изменяется, но к нему добавляется заголовок или даже бейсик-загрузчик.

1.6. Небольшой итог

В итоге всех моих словестных изысков надо усвоить следующее:

- На вход транслятора подаются текстовые файлы на языках С и Ассемблера.
- Файлы прогоняются через препроцессор, который выполняет только свои директивы, преобразуя остальной код в соответствии с ними:
 $\text{*.c, *.h} \rightarrow \text{*.E}$
 $\text{*.s} \rightarrow \text{*.asm}$
- Препроцессированные файлы на языке С передаются компилятору; на выходе получается код ассемблера:
 $\text{*.E} \rightarrow \text{*.asm}$
- Ассемблерные файлы передаются ассемблеру; на выходе получаются файлы с объектным кодом:
 $\text{*.asm} \rightarrow \text{*.rel}$
- Файлы с объектным кодом линкуются в исполняемый файл в формате Intel Hex:
 $\text{*.rel} \rightarrow \text{<имя программы>.hex}$
- Исполняемый файл в формате Intel Hex преобразуется в бинарный образ программы:
 $\text{<имя программы>.hex} \rightarrow \text{<имя программы>.bin}$
- Если необходимо, то специальными утилитами создается загрузочный файл нужного формата:
 $\text{<имя программы>.bin} \rightarrow \text{<имя программы>.tap}$
 $\text{<имя программы>.bin} \rightarrow \text{<имя программы>.trd}$
 $\text{<имя программы>.bin} \rightarrow \text{<имя программы>.$B}$
 $\text{<имя программы>.bin} \rightarrow \text{<имя программы>.$C}$

Пока мы не рассматривали такие вещи, как стартовый код, библиотеки, излишние секции и многое другое.

2. Особенности SDCC

Как бы мы чего ни стандартизировали, каждой отдельной реализации этого «чего» будут свойственны свои уникальные особенности.

А если это «чего» делается группой энтузиастов из трёх с половиной человек — то многие вещи там будут уникальные и особенные. И все потому, что в порыве творческого энтузиазма — людям не до стандартов. А потом переделывать неохота.

Все это в полной мере относится к SDCC.

В настоящем разделе мы рассмотрим особенности транслятора SDCC и его ограничения.

2.1. Линковка и секции линкера

В предыдущих разделах говорилось, что линковка — это по сути процесс размещения объектных файлов по заданным абсолютным адресам. Но как же линкер знает где располагаются данные, код, стек и так далее?

А знает он это из первого встреченного им *.rel файла, в котором указан порядок следования секций линкера.

Что такое «секция линкера»? А это адресное пространство, имеющее свое уникальное имя и выделенное для определенных нужд.

Поясню на примере. Все мы знаем, что байсик в ZX зашит в ПЗУ. С точки зрения программиста это значит, что по адресам процессора 0x0000 — 0x3FFF находится область памяти из которой можно читать данные, из неё можно исполнять код. Но в неё нельзя ничего записать.

Предположим, что мы пишем свой байсик для спектрума. Как нам сказать линкеру, что в область 0x0000 — 0x3FFF можно писать только код и константы; в адреса 0x4000 — 0x5AFF писать и читать ничего нельзя (там экран); а в адресах 0x5B00-0xFFFF можно творить всё, что угодно?

Для разрешения этого вопроса были придуманы так называемые «секции линкера», каждая из которых имеет свое имя.

При запуске линкера, мы вольны указать абсолютный адрес начала любой секции по нашему разумению. Если же адрес секции не указан, то они располагаются одна за другой в том порядке, как был встречены впервые в объектных файлах.

Существует несколько типов секций, которые автоматически генерируются компилятором языка C. В SDCC такие секции жестко «прибиты гвоздями» и их названия изменить нельзя (может когда и будет можно?).

Что это за секции? Самые главные — это **_CODE**, **_DATA**, **_BSS**, **_INITIALIZED** и **_INITIALIZER**. Именно так, начиная с символа подчеркивания.

Секция **_CODE**. Здесь размещается исполняемый код и константы.

Секция **_DATA**. Здесь размещаются не инициализированные переменные. Для инициализированных переменных есть отдельная секция **_INITIALIZED**. О секции **_INITIALIZER** поговорим чуть позже.

И наконец, секция **_BSS** — это секция стека. Она не включается в размер исполняемого файла вообще.

Для определения секции в языке ассемблера sdas предназначено ключевое слово **.area**. Рассмотрим, какие данные в каких секциях размещает компилятор SDCC.

2.2. Секции, создаваемые компилятором SDCC

В табл.1 приведен список секций с краткими комментариями. Более подробно назначение секций разобрано ниже.

Таблица 1: Секции, используемые SDCC

№	Секция	Назначение	Примечание
1	<code>_CODE</code>	Код программы и константы	
2	<code>_DATA</code>	Неинициализированные переменные	Инициализируются нулем при старте программы на С
3	<code>_INITIALIZER</code>	Данные для инициализации секции <code>_INITIALIZED</code>	В SDCC-NOINIT — секция всегда расположена последней и удаляется из бинарника.
4	<code>_INITIALIZED</code>	Инициализированные переменные	При старте программы сюда копируются данные из секции <code>_INITIALIZER</code> . В SDCC-NOINIT данные копируются не во время выполнения, а специальным скриптом (см. ниже).
5	<code>_DABS (ABS)</code>	Абсолютные адреса (данные)	Не используются в SDCC-NOINIT
6	<code>_CABS (ABS)</code>	Абсолютные адреса (код)	Не используются в SDCC-NOINIT
7	<code>_HOME</code>	Так и не понял для чего она	Не используются в SDCC-NOINIT
8	<code>_GSINIT</code>	Начало кода инициализации во время выполнения программы	
9	<code>_GSFINAL</code>	Окончание кода инициализации во время выполнения программы	
10	<code>_HEAP</code>	Куча динамической памяти	Компилятором не генерируется. Дополнительная
11	<code>_BSS</code>	Стек	Компилятором не генерируется. Дополнительная

2.3. Размещение машинного кода

Секция `_CODE`.

Машинный код размещается компилятором в секции `_CODE` и более ни в каких других. Создатели SDCC предполагают, что из секции `_CODE` можно читать и выполнять код, но не записывать в неё.

На самом деле, так как никакой защиты от записи не предусмотрено, записывать тоже можно. Но компилятор не размещает в этой секции переменных.

2.4. Размещение переменных и констант

Секции `_CODE`, `_DATA`, `_INITIALIZED`, `_INITIALIZER`.

Данные в языке С довольно можно поделить на два типа — переменные и константы. Переменные могут произвольным образом изменяться, а константы доступны только для чтения.

Кроме того, данные могут быть как инициализированными при объявлении, так и не инициализированными.

Не забываем, что все не инициализированные при создании статические переменные в языке С должны при старте программы заполняться нулем.

В зависимости от того, как мы объявляем ту или иную переменную, описываем те или иные данные — будет генерироваться различный ассемблерный код.

Рассмотрим пример. Есть у нас три похожих по виду, но очень разных по сути определения переменных и констант:

Определение 1: `const int var_const=2;`

Определение 2: `int var_noinit;`

Определение 3: `int var_init=7;`

Что же генерирует компилятор на каждое из них? Давайте посмотрим. Обратите внимание, что на ассемблере к имени переменной, функции или другого объекта на С добавляется символ подчеркивания. Это общее правило, которое не следует забывать при связывании кода на С и ассемблере.

Определение 1. Константа.

С:

```
const int var_const=2;
```

ASM:

```
.area _CODE
_var_const:
.dw #0x0002
```

Константа размещена в секции кода. Логично, так как её можно только читать. И даже если код в ПЗУ — ничего страшного, писать то в константу нельзя.

Определение 2. Не инициализированная при создании переменная.

С:

```
int var_noinit;
```

ASM:

```
.area _DATA
_var_noinit::
.ds 2
```

Переменная размещена в секции данных. Когда происходит запуск программы на С, вся область `_DATA` инициализируется константой 0. Таким образом, для переменной

`_var_noinit` выделяется место, а инициализация происходит во время старта программы. Все прекрасно.

Определение 3. Инициализированная при создании переменная.

C:

```
int var_init=7;
```

ASM:

```
.area _INITIALIZED
_var_init::
    .ds 2

.area _INITIALIZER
__xinit__var_init:
    .dw #0x0007
```

А вот для инициализированных при создании переменных все крайне запутано. Каждая такая переменная располагается аж в двух секциях: `_INITIALIZED` - это секция, где переменная находится во время выполнения программы и `_INITIALIZER`, где хранится инициализирующее значение этой переменной.

Создатели SDCC, очевидно, предполагали, что код ВСЕГДА будет находиться только в ПЗУ и никак иначе. Поэтому предполагается, что начальный код запуска программы на C будет копировать секцию `_INITIALIZER` в секцию `_INITIALIZED` и только потом запускать функцию `_main` (начало программы на C).

Само по себе ужасно не это, а то, то никоим образом нельзя сказать компилятору sdcc примерно следующее: «Милый мой компилятор! У меня вся программа будет в ОЗУ, так что инициализируй переменные сразу без копирования, как и константы». Ну например так:

```
.area _INITIALIZED
_var_init::
    .dw #0x0007
```

Увы. Пока такой функции в SDCC нет. Зато есть хитрые и злые кодеры вроде нас с вами. И выхода из ситуации два:

Выход первый. Можно, но не нужно.

Объявить все инициализированные при создании переменные как константы. В самом деле — раз у нас вся программа в ОЗУ, то какая разница — в секции кода или данных будет выделено место под переменную?

Недостатки такого подхода очевидны. Во-первых, придется все такие переменные вынести в отдельный файл и сделать к нему отдельный «обмынный» заголовочный файл:

Файл `var_init.c`:

```
const int var_init=7;
```

Файл `var_init.h`:

```
extern int var_init;
```

Почему так? Да чтобы компилятор не ругался, что мы пытаемся изменить константу. Компилируя файл `var_init.c`, компилятор будет думать, что `var_init` — это константа и выделит под неё память как под константу.

Компилируя другие файлы, куда подключен файл **var_init.h**, компилятор будет всецело уверен, что **var_init** — это переменная и будет спокойно в неё писать.

Мне такой подход не нравится. Ради переменных отдельные файлы.. Бррр..

Выход второй. Правильный.

Второй выход посложнее — написать утилиту, которая вырезает секцию **_INITIALIZER** и вставляет её на место секции **_INITIALIZED**. Именно такой подход и был осуществлен при написании утилиты **sdrmini**. На вход утилита принимает так называемый тар-файл и бинарник программы. Далее, из файла вырезаются секции **_INITIALIZER** и **_INITIALIZED**. И, наконец, файл сшивается так, что секция **_INITIALIZER** встает на место секции **_INITIALIZED**. Ограничение такого метода — секция **_INITIALIZER** должна быть самая последняя в списке секций. Зато достоинства очевидны — не надо копировать данные. Да и объём бинаря сокращается на размер секции **_INITIALIZER**.

2.5. Секции абсолютной адресации

Секции **_DABS (ABS) и **_CABS (ABS)**.**

По замыслу разработчиков, в данных секциях можно размещать данные и код, определяя абсолютные адреса директивой **.org**. Но практическое использование этих секций неудобно, потому что нет проверок перекрытия с другими секциями. Поэтому в SDCC-NOINIT данные секции не используются и вам не рекомендую с ними связываться.

2.6. Секции кода инициализации времени выполнения

Секции **_GSINIT и **_GSFINAL**.**

Некоторые конструкции языка C требуют выполнения кода инициализации до начала первой функции, то есть **main()**.

Компилятор помещает весь такой код в секцию **_GSINIT**. Секция **_GSFINAL**, следующая сразу за секцией **_GSINIT**, содержит единственную команду **ret**. При старте программы, стартовый код вызывает содержимое секции **_GSINIT**, как обычную подпрограмму.

Заметим, что после выполнения стартового кода, содержимое секций **_GSINIT**, **_GSFINAL** и **_INITIALIZER** становится не нужно. Поэтому в программе область памяти, занятую этими секциями можно использовать по своему усмотрению, например под стек.

2.7. Стартовый код **crt0*.s**

Выполнение программы начинается со стартового кода. В зависимости от того, что за программу, плагин или ещё что-то мы пишем — стартовый код может быть различным.

В SDCC-NOINIT предусмотрены различные файлы стартового кода, находящиеся в каталоге **libsrc/crt0**:

crt0.s	- стартовый код обычной программы;
crt0wcpplugin.s	- стартовый код плагина WC.

Пользователь волен писать свой стартовый код, если ему нравится и хочется.

Файлы со стартовым кодом находятся в каталоге **libsrc/crt0** и называются **crt0*.s**. Вместо звездочки подставляем все, что нам угодно.

Какой бы ни был стартовый код, его функции примерно следующие:

- а) инициализация указателя стека;
- б) заполнение секции **_DATA** нулевым значением;
- в) копирование секции **_INITIALIZER** в секцию **_INITIALIZED**;
- г) вызов кода инициализации времени выполнения из секции **_GSINIT**;
- д) вызов кода на языке C (функции **main()**);
- е) восстановление указателя стека;
- ж) возврат в вызывающую программу.

Кроме этого, при линковке программы, файл **crt0*.rel** должен быть указан первым в списке объектных файлов, чтобы определить порядок следования секций. Иначе результат будет плачевным.

В SDCC-NOINIT проведена некоторая работа по оптимизации всех функций стартового кода. Поведение файла стартового кода регулируется для каждой программы файлом **config.mk**, находящимся в файле с программой.

Рассмотрим, какие особенности имеет файл **crt0.s** SDCC-NOINIT:

- а) инициализация указателя стека. Производится опционально. Определяется символом **CALLERSTACK** файла **config.mk**. Если **CALLERSTACK=0**, то использовать свой стек, а если **CALLERSTACK=1** — то не трогать указатель стека, т. е. Использовать стек вызывающей программы. Это удобно;
- б) заполнение секции **_DATA** нулевым значением. Так как секция **_DATA** грузится целиком вместе с программой, то дополнительно забивать нулями её не нужно. Она уже обнулена во время компиляции;
- в) копирование секции **_INITIALIZER** в секцию **_INITIALIZED**. Этот вопрос уже обсуждался ранее. Секции копируются скриптом **sdrmini** после компиляции и во время выполнения секция **_INITIALIZER** уже не существует;
- г) вызов кода инициализации времени выполнения из секции **_GSINIT**. Тут все по стандарту;
- д) вызов кода на языке C (функции **main()**);
- е) восстановление указателя стека производится только если был использован свой собственный стек (**CALLERSTACK=0**);
- ж) возврат в вызывающую программу. Тут все по стандарту.

Кроме того, предусмотрено управление прерываниями при старте программы. Если символ **DISTART=0** (файл **config.mk** данной программы), то при входе в программу прерывания запрещаются, а при выходе — разрешаются.

Подробнее о конфигурации программ, библиотек и прочего — ниже.

3. Ассемблер в С и С в Ассемблере

Известно, что на ZX без ассемблера никуда. И это хорошо. Но и без ЯВУ в 21м веке тоже не комфортно.

Как же нам взять хорошее и от того и от другого? Для этого необходимо научиться ассемблерный код и код на С.

Этому и посвящена данная глава.

3.1. Два способа совмещать С и Ассемблер

В SDCC имеется два способа совмещать код на С и код на Ассемблере: отдельная компиляция и директивы встроенного ассемблера `__asm;` - `__endasm;`.

3.2. Соглашения об именах

Мы уже знаем, что компилятор преобразует код на языке С в код на языке ассемблера. Как же он называет различные переменные и функции? Так же как в С?

Рассмотрим простой пример:

Возьмем файл **example.c**:

```
int var_a;           // обычная переменная
static int var_b;    // локальная переменная (область видимости —
файл)

void function_a(){   // обычная функция
}
static void function_b(){ // локальная функция (область
видимости - файл)
}
```

Не будем пока углубляться в загадочную «область видимости», а откомпилируем этот файл и получим такой код на языке ассемблера **example.asm** (лишнее опущено):

```
.area _DATA
_var_a::
    .ds 2
_var_b:
    .ds 2

.area _CODE
_function_a::
    ret

_function_b:
    ret
```


Понимаете что произошло? Произошло очень простое и понятное. К каждому имени объекта (переменной, функции и проч.) компилятор добавил начальный символ подчеркивания.

Помните об этом всегда: если вы решили обратиться из ассемблера к переменной или функции, объявленной на С, то не забывайте добавить к имени знак подчеркивания. Так устроен SDCC и ничего тут не поделаешь. Зато удобно, когда все имена, начинающиеся с подчеркивания — это имена языка С. А с любой другой буквы — чисто ассемблерные имена.

Если вам надо из кода на С обратиться к переменной или функции, описанной на ассемблере — правило тоже работает. Только в языке С обязательно нужно указать, что у вас есть прототип функции или переменной.

Например имеется файл на ассемблере. Обратите внимание, что после имени стоит **два** двоеточия. Почему так — поговорим ниже.

```
.area _DATA  
_MyAsmArray::  
    .ds 10  
  
.area _CODE  
_MyAssemblerFunction::  
    ret
```

Если в файле на С описать прототипы, то можно спокойно обращаться к этим переменным и функциям. Только надо учесть, что для вызова из С, эти переменные и функции должны начинаться с подчеркивания, а прототипы на С должны быть без подчеркивания. Пример кода на С:

```
// Прототипы  
  
extern uint8_t MyAsmArray[];    // Массив из 10 байт  
void MyAssemblerFunction();    // Функция  
  
// Вызов (пример)  
void main(){  
    MyAsmArray[0] = 5;  
    MyAssemblerFunction();  
}
```

Как видите, в преобразовании имен между С и ассемблером нет ничего сложного. Всего лишь один символ, и тот — подчеркивание. Займемся теперь загадочными двоеточиями. Почему в одном случае оно одно, а в другом их два? Где здесь разгадка?

А разгадка в том, что в языках С и Ассемблер есть такое понятие как «область видимости». И это очень важное и удобное понятие, если знать и уметь его использовать.

3.3. Локальный или глобальный?

Область видимости — это участок программы, где доступно то или иное имя переменной или функции.

Для языка Ассемблера **sdas** областей видимости всего две — в пределах одного файла (локальные переменные и функции) или в пределах всей программы (глобальные переменные и функции).

Для языка С областей видимости больше: есть переменные и функции видимые в пределах всей программы (глобальные); есть переменные и функции, видимые в пределах файла (локальные или статические); а есть и те, что видны только в пределах фигурных скобок (например в пределах функции) — локальные.

Здесь мы рассмотрим только две области видимости - в пределах файла и в пределах всей программы. Будем пользоваться терминологией из языка Ассемблера, т. е. называть глобальной переменной или функцией ту, что видна везде и всем, а локальной переменной или функцией ту, что видна только в пределах текущего файла.

Чем же отличаются глобальные и локальные переменные? Все довольно просто.

Для переменных и функций, видимых в пределах всей программы, информация об именах переменных сохраняется в объектных файлах. Поэтому, к таким переменным и функциям можно обращаться из любого места программы, где описан прототип такой переменной или функции.

Для переменных и функций, видимых в пределах файла, никакой информации об именах в объектных файлах не сохраняется. Поэтому из других объектных файлов доступ к ним невозможен.

Вы можете иметь сколько угодно локальных переменных с одинаковыми именами, которые расположены в разных файлах. И это не доставит неудобств ни вам, ни компилятору.

3.3.1. Объявление глобальных переменных и функций

На языке С любая переменная или функция считается глобальной. Например, вот объявления глобальных переменных и функций:

```
int a;  
void main(){}
```

На языке ассемблера все переменные и функции по умолчанию — напротив, локальные. Для того, чтобы объявить какую-то переменную или функцию как глобальную — надо воспользоваться одним из двух методов — ключевым словом **.globl** или двойным двоеточием после имени:

```
.globl _MyAssemblerFunction
```

```
.area _CODE  
_MyAssemblerFunction:  
ret
```

```
.area _DATA  
_MyAsmArray::  
.ds 10
```

Функция **_MyAssemblerFunction** объявлена глобальной с помощью использования ключевого слова **.globl**. А переменная **_MyAsmArray** объявлена глобальной с помощью двойного двоеточия после имени. Эти объявления равнозначны.

3.3.2. Объявление локальных переменных и функций

На языке С область видимости, ограниченная одним файлом задаётся ключевым словом **static**. Например, вот объявления локальных переменных и функций, ограниченных по области видимости файлом:

```
static int local_a;  
static void local_main(){}
```

На языке ассемблера для объявления локальных переменных и функций, ограниченных по области видимости файлом не надо прилагать никаких дополнительных усилий:

```
.area _CODE  
_MyAssemblerFunctionLocal:  
ret  
  
.area _DATA  
_MyAsmArrayLocal:  
.ds 10
```

Хотя, надо отметить, что ключевое слово **.local** в ассемблере **sdas** все же существует. Дело в том, что в ассемблере **sdas** есть опция командной строки **-a**, которая включает режим «все символы по умолчанию — глобальные». В этом случае надо наоборот, указывать какие символы будут являться локальными. Никогда не используйте опцию **-a**! Иначе вас проклянут!

3.3.3. Раздельная компиляция

Раздельная компиляция, что код на С и код на ассемблере находятся в разных файлах. Файлы компилируются (файл на С — с помощью **sdcc**, файл на ассемблере — с помощью **sdas**). В результате получаются два объектных *.rel-файла, которые линкуются в программу.

3.3.4. Директивы встроенного ассемблера

3.4. Передача параметров в функцию

3.5. Передача параметров из функции

4. Структура каталогов SDCC-NOINIT

Проект SDCC-NOINIT состоит из дерева каталогов различного назначения:

apps - каталог, содержащий исходники собираемых программ. Одна программа - один подкаталог.

Выходные файлы:

Для программ: *.tap *. $\$C$ *.tap *.bin

Для плагинов WC: *.wmf

Если что-то не нравится - всегда можно поправить Makefile конкретной программы.

configs — файлы глобальной конфигурации, определяющие какие программы и библиотеки и как собирать.

include - заголовочные файлы, которые доступны все библиотекам и программам всегда.

libsrc - каталог, содержащий исходники собираемых библиотек. Одна библиотека - один подкаталог. При сборке доступны заголовочные файлы только тех библиотек, которые разрешены.

scripts - скрипты, используемые для сборки (перемещение памяти, преобразование текста, автогенерация файлов ...)

Makefile - Головной Makefile. Лучше его не трогать.

4.1. Каталог с исходными текстами apps

Исходные тексты программ: один каталог — одна программа. Какие из программ собирать, определено в файле **configs/apps.mk**.

В каталоге с программой обязательно находятся файлы: **Makefie**, **config.mk** и **build.mk**.

Для программы и плагинов WC эти файлы различаются. Но основа у них одна.

Файл **config.mk** — файл конфигурации стартового кода. На его основе генерируется файл **autoconfig.asm**, который содержит определения, передаваемые в стартовый код.

Для стандартного стартового кода **crt0.s** определяются такие параметры:

```
# Начальный адрес загрузки и запуска программы  
START=0x6000
```

```
# Размер стека  
SSIZE=0x0400
```

```
# Управление прерываниями (0-при старте программы запрещаются,  
# 1 — не меняются)  
DISTART=0
```

```
# Использование собственного стека размером SSIZE (0) или  
# стека вызывающей программы (1)  
CALLERSTACK=0
```

Для стандартного стартового кода WC-плагина **crt0wcplugin.s** определяются такие параметры:

```
# Начальный адрес загрузки и запуска плагина  
START=0x8000
```

```
# Начальный адрес загрузки заголовка плагина  
STARTPLHEADER=0x6000
```

Пока что я создавал плагины размером 1 страницу.

Файл **build.mk** — содержит такую информацию:

```
# Имя программы  
APP=zxkbdtest
```

```
# Список объектных файлов  
OBJ=main.rel test.rel
```

```
# Путь к файлу со стартовым кодом. Если не указан — то crt0.s  
# CRT0PATH=$(TOP)/libsrc/crt0/$(CRT0)
```

Как видим, большей частью все просто и понятно. Отметим, что неважно — на Ассемблере или С написан файл — указывается только имя объектного файла. А уж система сама ищет из какого исходника её создать.

Помните, что нельзя в одном каталоге иметь два исходника с одинаковыми именами на разных языках, например **main.c** и **main.s**. В этом случае система не сможет определить — из какого же файла создавать **main.rel** ?

Если вам нужны другие локальные для программы параметры — создавайте свои ***.mk**-файлы. Все, что вы в них напишите — будет включено в **Makefile** программы в том каталоге, в котором вы их поместите..

4.2. Каталог глобальной конфигурации **configs**

Содержит файлы глобальной конфигурации. Любой ***.mk**-файл из каталога **configs** будет добавлен в описание глобальной конфигурации всех программ и библиотек.

Назначение некоторых глобальных конфигурационных файлов:

apps.mk — указывает какие программы-плагины собирать (список каталогов в **apps**);

crt0.mk — определяет шаблон стартового кода для программ (он берется по умолчанию);

crt0wcplugin.mk — определяет шаблон стартового кода для WC-плагинов;

library.mk — указывает какие библиотеки собирать (список каталогов в **libsrc**);

printf_float.mk - использовать плавающую точку в **printf** или нет (сильно влияет на размер);

sfs_float.mk - указать - стандартная реализация сложения **float** или моя;

tools.mk - определяет какие утилиты использовать. Менять можно, но очень-очень осторожно:).

Если вам нужны другие глобальные параметры — создавайте свои ***.mk**-файлы. Все, что вы в них напишите — будет включено во все **Makefile**.

4.3. Каталог с общими заголовочными файлами **include**

В данном каталоге находятся заголовочные файлы, доступные всем программам и библиотекам без исключения.

Можете добавлять сюда свои *.h-файлы. Но помните, что они будут видны всем.

4.4. Каталог с исходными текстами библиотек **libsrc**

Исходные тексты программ: один каталог — одна библиотека. Какие из библиотек собирать, определено в файле **configs/library.mk**.

Сборка библиотеки целиком определяется в **Makefile**.

Собственно, сборка состоит из двух шагов:

- из файлов *.c и *.asm генерируются *.rel файлы;
- с помощью специальной утилиты все полученные *.rel файлы собираются в один библиотечный *.lib файл.

И тут есть подводный камень: если у вас в одном *.rel-файле несколько функций, то все содержимое этого файла будет извлечено из библиотеки и вставлено в вашу программу. Даже если используется только одна функция.

Выход один — объединять в один файл только неразрывно связанные функции, которым друг без друга не жить.

Только так вы сможете минимизировать потери памяти при использовании библиотек.

Например, взгляните на **libz80**: одна функция — один файл почти везде. Поступайте подобным образом. Может SDCC когда-нибудь научится удалять мертвый код из библиотек...

4.5. Каталог со скриптами **scripts**

Содержит сборочные скрипты для конфигурации, оптимизации, сборки. Кратко о назначении скриптов:

autoconfig — генерирует файл autoconfig.asm на базе файла config.mk. Можно использовать для своих нужд.

Пример. Имеется файл **config.mk**:

Start adress of module/program

START=0x6000

Stack Size

SSIZE=0x0400

Interrupt on start: 0-disable, 1-enable

DISTART=0

Store caller stack (1) or self stack (0)

CALLERSTACK=0

Запускаем скрипт **autoconfig**. Первый параметр — имя входного файла, второй — имя выходного:

#!/autoconfig config.mk autoconfig.asm

Получаем файл **autoconfig.asm**:

:: This file generated automatically. Do not change it.

```
__START=0x6000  
__SSIZE=0x0400  
__DISTART=0  
__CALLERSTACK=0
```

:: end of autoconfig

Догадались, что делает скрипт? Он удаляет все комментарии, начинающиеся с решетки (#) и добавляет ко всем именам переменных два символа подчеркивания. Такой файл уже можно включать в исходный код на ассемблере директивой **.include /autoconfig.asm/**.

sdrmini — удаляет и переносит секцию **_INITIALIZER** на место секции **_INITIALIZED** и удаляет секцию **_INITIALIZER**. Для работы скрипта нужны два файла: бинарный файл скомпилированной программы и *.**map**-файл, который создаёт линкер при линковке. Запуск скрипта:

```
#!/sdrmini app.map app.bin
```

bin2hob — преобразование bin-файла в *.**\$C** файл с правильным заголовком. Скрипт требует обязательного наличия **z80asm** (Z80 Module Assembler (c) InterLogic). Запуск скрипта:

```
#!/bin2hob name 0x6000 app.bin
```

где

name — имя (не более 8 символов);
0x6000 — стартовый адрес, указываемый в заголовке (укажите свой);
app.bin — скомпилированный двоичный файл.

plughdr_1page — синтезирует заголовок одностраничного плагина **WC** на ассемблере. Запуск скрипта:

```
#!/plughdr_1page plheader.asm name [ext1] [ext2] ... [extN]
```

где

plheader.asm — имя выходного файла на ассемблере;
name — имя плагина (не более 32 символов);
ext1 .. extN - расширения файлов для запуска плагина. Могут не указываться.

s2hs — преобразует определения констант на **C** в определение констант на ассемблере. Удаляет строки с комментариями в виде двух слэшей (**//**). Запуск скрипта:

```
#!/s2hs infile.h
```

Создаёт выходной файл, добавляя к расширению **S**-заглавную. В нашем примере — **infile.hS**.

Пример. Имеем файл **infile.h**:

```
#define SCR_TXT_W 0x20
#define SCR_TXT_H 0x18

#define SYM_AT 0x16
#define SYM_TAB 0x09
#define SYM_NL 0x0A
#define SYM_CR 0x0D

// Размер табуляции (2^K_TAB - размер)
#define K_TAB 0x02
```

После обработки утилитой s2hs получаем файл **infile.hS**:

```
SCR_TXT_W=0x20
SCR_TXT_H=0x18

SYM_AT=0x16
SYM_TAB=0x09
SYM_NL=0x0A
SYM_CR=0x0D

K_TAB=0x02
```

В будущем эти скрипты надо бы переработать, но пока используем то, что есть.

4.6. Каталог программ **bin**

Сюда копируются все собранные программы.

4.7. Каталог библиотек **libs**

Сюда копируются все собранные библиотеки.

5. Сборка программы в **SDCC-NOINIT**

5.1. Конфигурация компонентов — библиотек и программа

Конфигурация имеется глобальная (файлы находятся в каталоге **configs**) и локальная (*.mk файлы в каталоге конкретной программы в **apps**).

В каталоге каждой программы имеется файл **config.mk**, в котором описаны параметры данной программы, такие как адрес загрузки и запуска данной программы, размер стека, разрешение прерываний по запуску программы и проч.

На основе файла **config.mk** генерируется стартовый код для программы **crt*.rel**.

Глобальная конфигурация доступна всем программам и библиотекам и разбита на отдельные текстовые *.mk-файлы для удобства.

Любой *.mk-файл из каталога **configs** будет добавлен в описание глобальной конфигурации.

Любой *.mk-файл из каталога программы будет добавлен в описание локальной конфигурации.

5.2. Добавление новой программы в систему сборки

5.3. Добавление новой библиотеки в систему сборки

5.4. Файлы глобальной конфигурации

5.5. Файлы локальной конфигурации программ

5.6. Файлы локальной конфигурации WC-плагинов

5.7. Файлы начального запуска crt0*.s

5.8. Процесс сборки программы

5.9. Процесс сборки библиотеки

5.10. Сборочные скрипты

6. Описание библиотек

6.1. Библиотека файлов начального запуска crt0

6.2. Библиотека libc для ZX: libz80

6.3. Библиотека музыкальных плееров libay

6.4. Библиотека вывода на стандартный экран ZX libconio

6.5. Библиотека работы с прерываниями libim2

6.6. Библиотека работы с кольцевыми буферами libringbuf

6.7. Библиотека вывода спрайтов на стандартный экран ZX libspr

6.8. Библиотека работы с таймерами libtimer

6.9. Библиотека работы с UARTами libuart

6.10. Библиотека создания плагинов для WC libwcplugin

6.11. Библиотека работы с клавиатурой ZX libzxkbd

6.12. Библиотека работы с клавиатурой PS2 libps2