



基于 MDK 开发的 TencentOS-Tiny Software Pack
TencentOS-Tiny software package based on MDK development

2021/9/3

东南大学

导师：汪礼超

学员：崔林威

<https://github.com/OpenAtomFoundation/TencentOS-tiny>

1、ARM 软件包介绍

1.1 软件包简介

在进行嵌入式软件开发时，ARM 为我们提供了软件包功能，能够将软件算法等模块进行集成封装，从而方便第三方用户使用。ARM 软件包能够为微控制器设备和开发板提供支持，包含软件组件（Software Component）如驱动程序和中间件，还可以包含示例项目和代码模板等，主要有以下类型的软件包：

(1) 器件系列包（Device Family Pack）：由硅供应商或工具供应商生成，为特定的目标微控制器创建软件应用提供支持；

(2) 板级支持包（Board Support Pack）：由电路板供应商发布，为安装在电路板上的外围硬件提供软件支持。

(3) CMSIS 软件包：由 ARM 提供，包括对 CMSIS 核心、DSP 和 RTOS 的支持；

(4) 中间件包（Middleware Pack）：由芯片供应商、工具供应商或第三方创建；通过提供对常用软件组件（如软件堆栈、特殊硬件库等）的软件集成，从而减少开发时间；

(5) 内部组件（In-house components）：由工具用户开发，用于内部或外部分发。

软件组件包括以下几部分：

(1) 源代码、库、头文件/配置文件和文档；

(2) 完整的示例项目，展示了软件组件的使用，可以下载并在评估硬件上执行；

(3) 代码模板，方便使用软件组件。

一个完整的软件包是一个 ZIP 文件，包含所有需要的软件库和文件，以及一个包含软件包所有信息的包描述文件（PDSC 文件），软件包的结构是在 CMSIS 中定义的 (<http://www.keil.com/CMSIS/Pack>)。

1.2 软件包开发

1.2.1 软件包开发过程

软件包的开发过程相当于完成了一项产品的制作，因此引入产品生命周期管理（PLM）的概念，PLM 包括以下四个阶段：（1）概念的产生，基于软件包需求进行产品定义，并创建第一个功能原型；（2）设计，根据技术特征和要求，进行原型测试和产品的实施，通过广泛的测试验证产品的功能与规格；（3）发布，产品被制造出来并推向市场；（4）服务，对产品的维护，包括对客户的支持，最后不断优化，结束产品的周期。

在制作软件包时，主要面临以下几个过程：

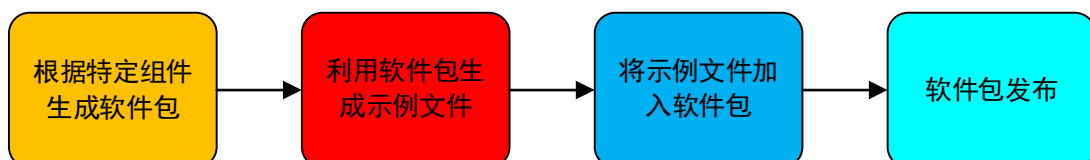


图 1.1 软件包开发流程

首先，根据特定组件生成软件包即根据需求将相应的头文件、库文件等软件组件利用 PDSC 文件进行组织，在组织完成后即可利用软件包生成工具生成对应版本的软件包，然后对新生成的软件包进行测试，给出示例测试程序，再将其包含如 PDSC 文件中，最后经测试完成后生成最终的软件包。

1.2.2 PDSC 文件的编写

PDSC 文件是基于可扩展标记语言（XML）进行编写的，能够将软件包包含的各个模块按

照特定的格式组织起来，接下来按照 PDSC 文件的结构对文件的编写进行详细介绍：

首先是 PDSC 文件的开头，前两句是声明为 XML 格式，它是在 MDK 中的 PACK.xsd 文件定义的，所以不用修改；<name>和<vendor>标签定义了软件包的基本内容，也用于 PACK 文件的文件名，故该 PDSC 文件应命名为 Tencent.TencentOS-tiny.pdsc；<description>标签描述了软件包的信息，它将显示在包安装程序中；<url>标签可以包含一个带有软件包下载链接的网址，方便用户下载；<license>标签包含了用户使用该软件包时需要遵守的协议，<supportContact>标签表示软件包的支持人员联系方式，可以提供一个电子邮件地址或网页 URL。如图 1.2 为下列代码对应的软件包界面。

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<package schemaVersion="1.0" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xs:noNamespaceSchemaLocation="PACK.xsd">
<name>Tencent</name>
<description>Description of your pack</description>
<vendor>TencentOS-tiny</vendor>
<url>https://github.com/OpenAtomFoundation/TencentOS-tiny</url>
<license>LICENSE.txt</license>
<supportContact>...</supportContact>
```

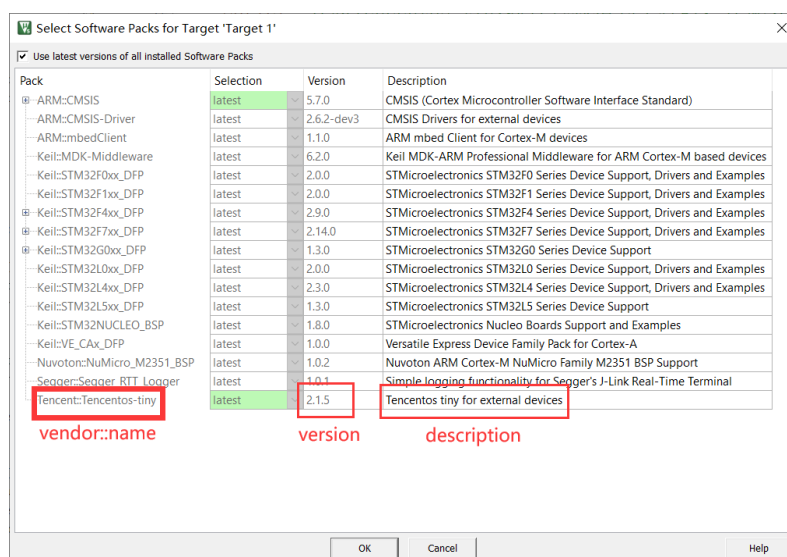


图 1.2 程序对应的软件包

接下来是 PDSC 文件的各个模块，<releases>标签定义了软件包的版本，开发者可以在版本更新时在此进行标注，从而在生成软件包时，系统会自动生成最新版本的软件包；

```
<releases>
<release version="1.0.1">
    Sep/3/2021, version name
</release>
<release version="1.0.0">
    Sep/1/2021, version name
</release>
</releases>
```

<taxonomy>标签用于定义每个组件的 description，如图 1.3 所示，通过下列代码中的 Cclass、Cgroup 和 Csub 来确定 description 所在的位置，doc 用于指定 description 文件（也可以不加），然后添加 description 的名字。

```

<taxonomy>
  <description Cclass="Tencentos tiny" Cgroup="xx" Csub="xx" doc="examples/index.html">Tencentos
  tiny</description>
</taxonomy>

```

The screenshot shows the 'Manage Run-Time Environment' window. On the left is a tree view of software components. On the right is a table with columns: Sel., Variant, Version, and Description.

Sel.	Variant	Version	Description
<input checked="" type="checkbox"/>	MCBSTM32E	2.0.0	Keil Development Board MCBSTM32E
<input checked="" type="checkbox"/>			Cortex Microcontroller Software Interface Components
<input checked="" type="checkbox"/>			Unified Device Drivers compliant to CMSIS-Driver Specifications
<input checked="" type="checkbox"/>			Startup System Setup
<input checked="" type="checkbox"/>	MDK-Pro	6.2.0	File Access on various storage devices
<input checked="" type="checkbox"/>	MDK-Pro	5.26.1	User Interface on graphical LCD displays
<input checked="" type="checkbox"/>	MDK-Pro	6.2.0	IP Networking using Ethernet or Serial protocols
<input checked="" type="checkbox"/>	MDK-ARM	1.0.0	TencentOS tiny
<input checked="" type="checkbox"/>			<taxonomy>description
<input checked="" type="checkbox"/>			
<input checked="" type="checkbox"/>			
<input checked="" type="checkbox"/>			
<input checked="" type="checkbox"/>			

图 1.3 <taxonomy>标签

<keywords>标签定义了软件包的关键词，在 ARM 官网下载软件包时可利用关键词搜索到需要的软件包。

```

<keywords>
  <keyword>Tencent</keyword>
</keywords>

```

<requirements>标签定义了软件包的关联安装需求，即在安装本软件包时，还需要在网上安装其他包（网址：[MDK5 Software Packs \(keil.com\)](http://www.keil.com/pack/MDK5_Software_Packs)），例如下面的定义则需要我们安装 ARM 的 CMSIS5.7.0 软件包。

```

<requirements>
  <packages>
    <package vendor="ARM" name="CMSIS" version="5.7.0"/>
  </packages>
</requirements>

```

接下来是<conditions>标签，该标签在设计<components>时使用，用以说明软件包中各个组件的依赖关系，即使用本组件还需要选择其他组件。在该标签下可以定义多个 condition，每个 condition 可以定义多个条件，其中<conditions id>表示条件名，<description>为条件信息，然后便是定义的条件，其中<accept>表示该条件时可选的，当同时存在多个<accept>时，用户需要至少满足其中一个条件才可以使用；<require>表示该条件是必选的，否则便无法使用相应的组件。在条件内部，包含一些特定的指示性语法，如果在设计<component>的时候开发者选择了名为 Cortex_M0 的条件，那么用户在使用该<component>时，则需要遵守条件要求：其中<accept Dvendor="ARM:82" Dname="ARMCM0"/>表示用户需要选择 ARM-Cortex M0 内核，<require condition="condition id"/>为条件嵌套，表示用户还需要满足该条件对应的要求，<require Cclass="Tencentos tiny" Cgroup="kernel" Csub="core"/>表示用户还需要选择 core 组件。

```

<conditions>
  <condition id="Cortex_M0">
    <description> Cortex-M0</description>
    <accept Dvendor="ARM:82" Dname="ARMCM0"/>
    <require condition="condition id"/>
    <require Tcompiler="ARMCC"/>
  </condition>

```

```

<require Cclass="Tencentos tiny" Cgroup="kernel" Csub="core"/>
</condition>
</conditions>

```

然后是<components>标签，该标签描述了软件包包含的所有文件，在编写该标签下的程序时，需要按照文件类别将文件进行划分，在下列代码中，定义了一个 Keil:: Tencentos tiny:: arch::arch 的<component>，<description>为该组件的信息，具体如图 1.4 所示。

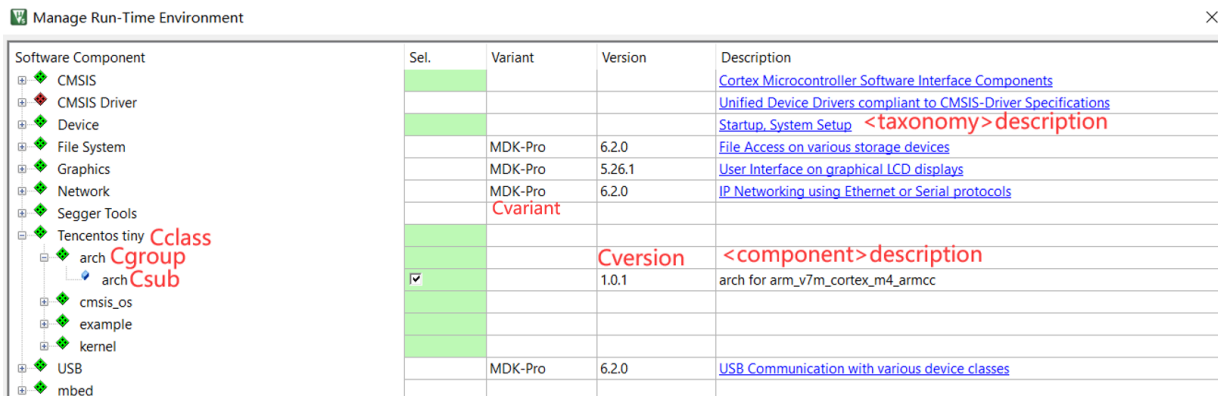


图 1.4 <component>定义界面

```

<components>
<component Cvendor="Keil" Cclass="Tencentos tiny" Cgroup="arch" Csub="arch" Cversion="1.0.1"
condition=" condition id">
<description> description </description>
<files>
<file category="doc" name="Documentation/General/html/driver_I2C.html"/>-->
<file category="include" name="arch/arm/arm-v7m/common/include/">
<file category="header" name="arch/arm/arm-v7m/cortex-m0+/armcc/port.h"/>
<file category="header" name="arch/arm/arm-v7m/cortex-m0+/armcc/port_config.h" attr="config"
version="1.1.0"/>
<file category="source" name="arch/arm/arm-v7m/common/tos_cpu.c"/>
</files>
</component>

```

condition=" condition id"即为上述介绍的<condition>标签，从而用户在使用该组件时，还需要满足 condition 所要求的依赖组件。另外，在定义某一个<component>时，需要按照上面程序的<files>...</files>语法进行文件添加，其中 file category 的定义如表 1-1 所示，在 name 中可以添加文件路径和具体的某个文件，在软件包中，我们添加的文件默认是不可编辑的，为了方便用户对文件进行配置，我们需要添加 attr="config"属性，并可通过 version 更新不同版本的文件。

表 1-1 file category 定义

category	含义
doc	文件，可以是网页或者其他链接
include	包含某一个路径下的所有头文件
header	包含某路径下的具体头文件
source	.c 源文件

为了使我们设计的软件包能够适配不同的内核，即在使用软件包时与用户 ARM 核不一致的文件都不出现，可以按如下步骤进行<files>的添加：（1）在 condition 条件中，加入<require

Dvendor="ARM:82" Dname="ARMCM0"/>这样的程序，该程序表示需要用户选择 ARM Cortex-M0 内核；（2）在添加<files>时，我们可以将针对不同内核，同一类型文件的 Cgroup 和 Csub 保持同样的名字，并添加上（1）中定义的 condition，这样用户选择不同内核时，将只会出现与该内核一致的文件。

同时，如果需要在 PDSC 文件中定义多个软件包，可以采用下列代码结构，其中每一个 <bundle> 标签定义了一个软件包。




```
<components>
  <bundle Cbundle="MDK-ARM" Cclass="TencentOS tiny" Cversion="1.0.0">
    <description>TencentOS tiny</description>
    <doc>examples/index.html</doc>
    <component
      <!-- 组件内容 -->
    </component>
  </bundle>
  <bundle Cbundle="MDK-ARM" Cclass="TencentOS tiny" Cversion="1.0.0">
    <description>TencentOS tiny</description>
    <doc>examples/index.html</doc>
    <component
      <!-- 组件内容 -->
    </component>
  </bundle>
</components>
```


另外，PDSC 文件还可以包含<devices>、<apis>、<boards>和<examples>，这些为 ARM 公司或者其他器件、开发板厂商提供，为针对器件、api 库文件、板级和相应的示例文件，具体可以参阅 ARM CMSIS 的软件包。

最后，PDSC 文件后还需要在最后加上</package>，表示该文件的结束，从而完成 PDSC 文件的编写。

1.2.3 生成软件包

在完成 PDSC 文件的编写后，为了生成最终的软件包，还需要准备如图 1.5 所示的 3 个文件，其中 PackChk.exe 用于验证软件包包含的文件是否都存在，即是否完整；gen_pack.bat 为 Windows 批处理文件，需要我们对文件中的路径进行修改，并用于生成软件包；PACK.xsd 是 schema，主要用来制定 XML 规范，用以验证我们编写的 PDSC 文件。另外，还需要准备 7-Zip File Manager 软件，用于对文件进行压缩，制作集成的软件包。

 PackChk.exe	2021/7/19 22:39	应用程序	2,485 KB
 gen_pack.bat	2021/9/2 14:16	Windows 批处理文件	3 KB
 PACK.xsd	2021/7/19 22:39	XML Schema File	85 KB



7-Zip File Manager

图 1.5 生成软件包所需的软件配置

首先利用记事本或 Notepad++ 打开 gen_pack.bat，对以下几个地方需要修改，如表 1-2 所示：

```
SET ZIPPATH=C:\Program Files\7-Zip
SET RELEASE_PATH=..\Local_Release
```

```
SET PACK_VENDOR=Tencent
SET PACK_NAME=Tencentos-tiny
SET PACK_FOLDER_LIST=arch osal kernel examples
SET PACK_FILE_LIST=%PACK_VENDOR%.%PACK_NAME%.pdsc README.md LICENSE.txt
```

表 1-2 gen_pack.bat 修改内容

代码	含义
SET ZIPPATH	7-Zip File Manager 软件的安装路径
SET RELEASE_PATH	生成的软件包路径，为相对路径
SET PACK_VENDOR	PDSC 文件中的<vendor>标签
SET PACK_NAME	PDSC 文件中的<name>标签
SET PACK_FOLDER_LIST	软件包包含文件所在路径
SET PACK_FILE_LIST	README.md LICENSE.txt 所在路径

修改完毕 gen_pack.bat 后，便可以制作软件包了，首先利用 cmd 打开电脑的命令行界面，执行 cd 命令转到 gen_pack.bat 所在的路径，然后输入 gen_pack.bat 点击 enter，如图 1.6 所示，gen_pack.bat 会按照顺序压缩文件，然后读取 PDSC 文件，检查数据完整性和文件依赖是否完整，然后生成软件包，当提示 gen_pack.bat completed sucessfully 后就完成了软件包的创建。

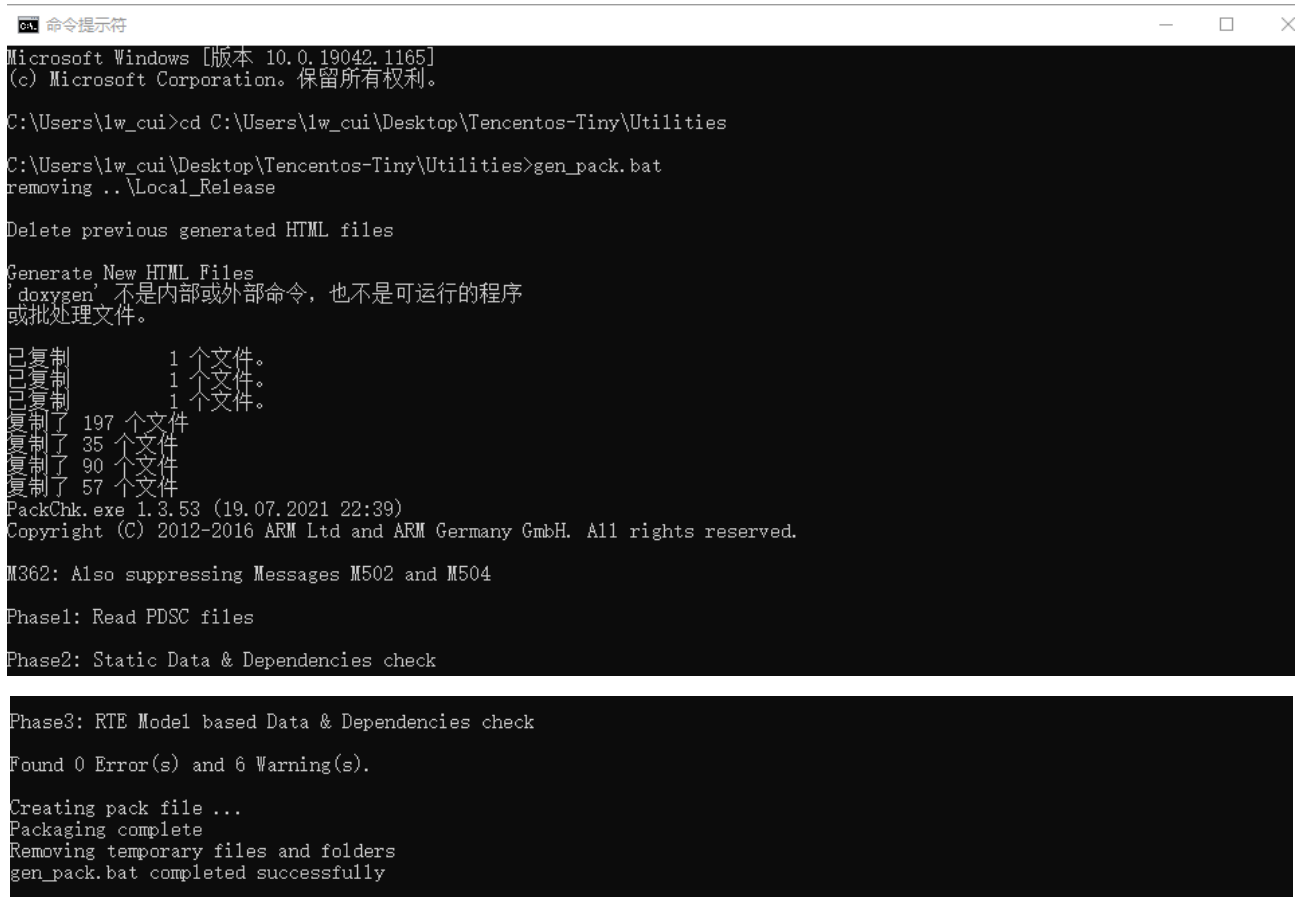


图 1.6 软件包生成界面

此时在 Local_Release 路径下，可以看到生成的软件包。

名称	修改日期	类型	大小
 Tencent.Tencentos-tiny.2.1.6.pack	2021/9/3 19:21	uVision Software Pack	3,340 KB

图 1.7 软件包

2、TencentOS-tiny 软件包

腾讯物联网操作系统（TencentOS tiny）是腾讯面向物联网领域开发的实时操作系统，具有低功耗，低资源占用，模块化，可裁剪等特性。TencentOS tiny 提供了最精简的 RTOS 内核，内核组件可裁剪可配置，可灵活移植到多种终端 MCU 上。而且，基于 RTOS 内核，提供了 COAP/MQTT/TLS/DTLS 等常用物联网协议栈及组件，方便用户快速接入腾讯云物联网通信 IoT Hub。同时，TencentOS tiny 为物联网终端厂家提供一站式软件解决方案，方便各种物联网设备快速接入腾讯云，可支撑智慧城市、智能水表、智能家居、智能穿戴、车联网等多种行业应用。

因此，为了有效减少开发人员在移植 TencentOS tiny 到 ARM 内核单片机上的开发时间，本文基于 MDK 完成了第三方 TencentOS Tiny pack 和软件包的封装，能够使用 MDK pack 直接生成适合不同 MCU 的 TencentOS Tiny 工程。

2.1 软件包内容

结合 TencentOS tiny 的算法架构，本文设计的软件包包括如表 2-1 所示的内容：

表 2-1 软件包内容

内容		功能
arch		包括 TencentOS-tiny\arch\arm 下内核为 Cortex-M0+、Cortex-M0、Cortex-M3、Cortex-M4、Cortex-M7、Cortex-M23、Cortex-M33 的 arch 文件
kernel		包括 TencentOS-tiny\kernel 下的 core、hal 路径中的文件
cmsis_os		对应 TencentOS-tiny\osal\cmsis_os 的文件
example	helloworld_main_1.c helloworld_main_2.c	用于测试软件包的 main 文件，包括 2 个示例
	mcu_it.c	移植软件包时需要按照该文件对中断函数进行修改
	mcu_platform.h	用户可在此文件在添加对应单片机的头文件
	tos_config 文件	对应 TencentOS-tiny\board 下的 tos_config 文件，一种 ARM 内核对应一个 tos_config 文件

软件包具有以下功能：

（1）软件包针对 ARMCortex-M0+、Cortex-M0、Cortex-M3、Cortex-M4、Cortex-M7、Cortex-M23 和 Cortex-M33 内核进行了 TencentOS tiny 软件的封装，用户在安装软件包后能够快速将 TencentOS tiny 相应内核的 Keil 工程中；

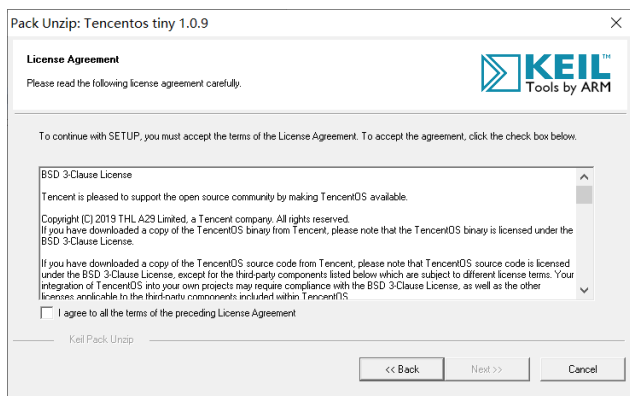
（2）软件包能够自动适应用户所选的内核，tos_config 和 arch 文件能够根据内核自动显示，从而方便用户使用；

（3）用户在勾选一个组件时，软件包会自动提示还需要勾选其他模块，并可利用界面中的 Resolve 一键勾选，防止遗漏；

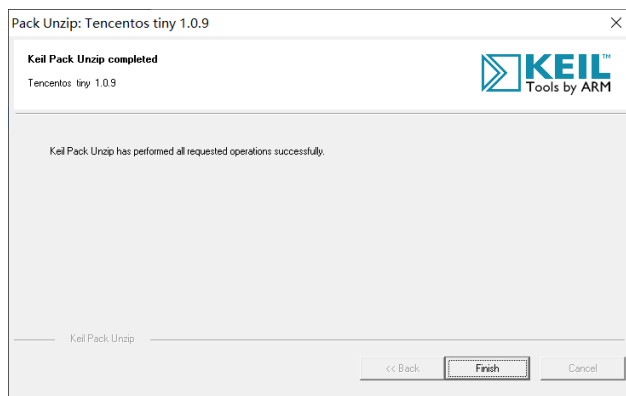
（4）用户可自主修改对应内核的 tos_config 文件，对 TencentOS tiny 的功能进行裁剪。

2.2 软件包安装

接下来介绍 Tencent.TencentOS-tiny 软件包的安装，首先双击图 1.5 中的软件包，然后进入安装界面，如图 2.1(a)，点击 I agree to all the terms of the preceding License Agreement，再点击 next 进行安装，安装完成界面如图 2.1(b)所示；



(a)



(b)

图 2.1 安装界面

此时软件包已经安装到 Keil 5 之中，打开 Keil 5 软件，并点击 Pack Installer 图标，可以进行不同软件包版本的安装与移除：

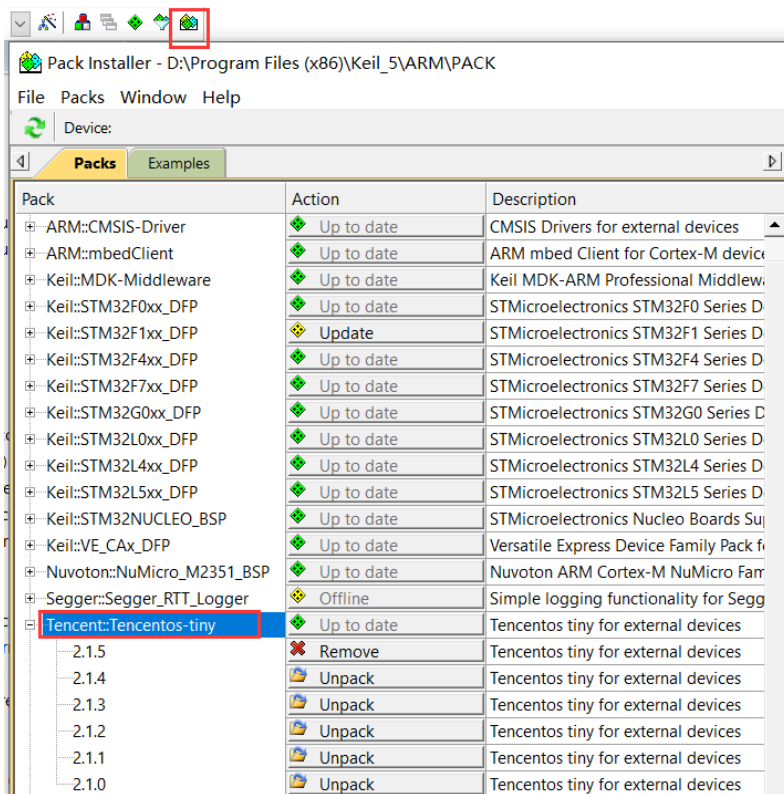


图 2.2 Pack Installer 界面

接下来就可以安装 Tencent.Tencentos-tiny 软件包中的组件，点击 Manage Run-Time Environment 图标，对需要从软件包中移植的文件进行勾选，如图 2.3 所示，如果有依赖可以点击 Resolve 进行一键安装。

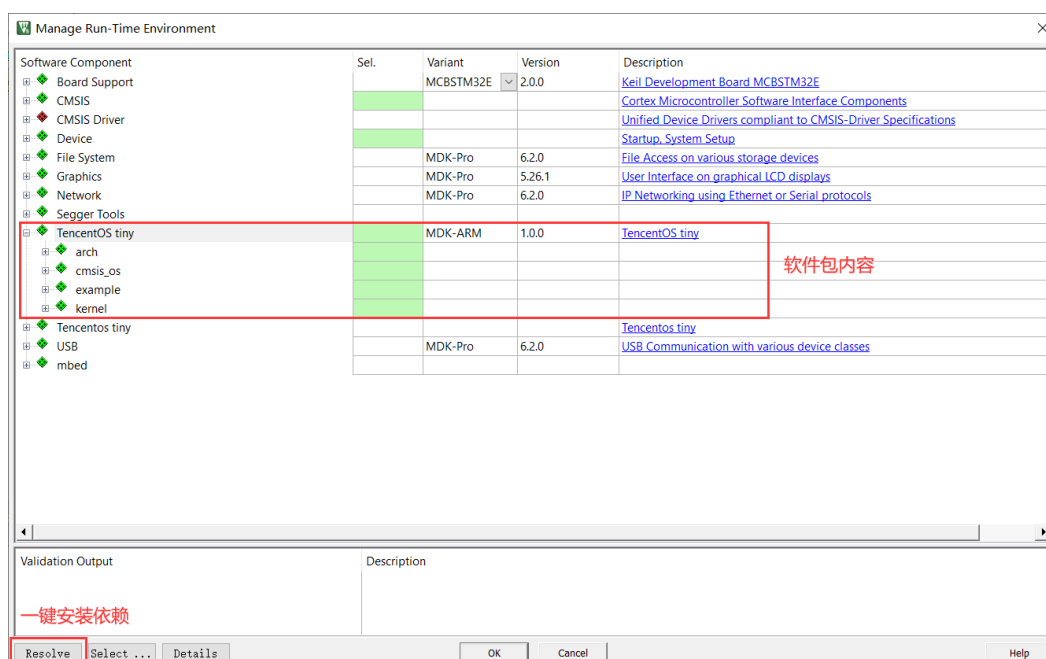


图 2.3 Manage Run-Time Environment 界面

3、软件包测试

3.1 ARM 内核移植 TencentOS tiny 软件包

首先在 [MDK5 Software Packs \(keil.com\)](https://www.keil.com/pack/ARM_CMSIS_5.8.0.pack) 下载安装 ARM CMSIS-5.8.0 软件包，以便在不同内核下测试本软件包。



图 3.1 ARM CMSIS-5.8.0 软件包

在安装完软件包后，以 ARM Cortex-M3 内核为例对软件包进行移植，并进行编译，首先利用 Keil5 软件新建工程，并选择 ARMCM3，如图 3.2 所示，然后按照图 3.3 勾选相应的 Tencentos-tiny 组件和 Cortex-M3 内核文件，可以看到 arch 和 tos_config 都已经根据内核进行了自动适配。

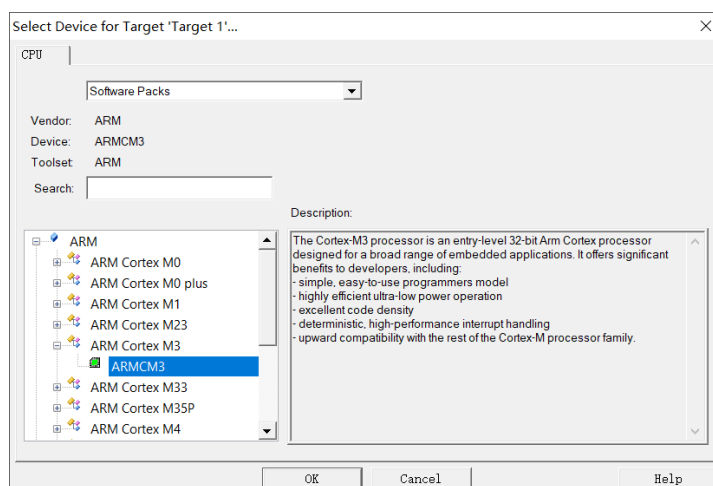


图 3.2 勾选内核

Software Component	Sel.	Variant	Version	Description
CMSIS	<input checked="" type="checkbox"/>		5.4.0	Cortex Microcontroller Software Interface Components
CORE	<input checked="" type="checkbox"/>		5.4.0	CMSIS-CORE for Cortex-M, SC000, SC300, ARMv8-M, ARMv8.1-M
DSP	<input type="checkbox"/>	Source	1.8.0	CMSIS-DSP Library for Cortex-M, SC000, and SC300
NN Lib	<input type="checkbox"/>		1.3.0	CMSIS-NN Neural Network Library
RTOS (API)	<input type="checkbox"/>		1.0.0	CMSIS-RTOS API for Cortex-M, SC000, and SC300
RTOS2 (API)	<input type="checkbox"/>		2.1.3	CMSIS-RTOS2 API for Cortex-M, SC000, and SC300
CMSIS Driver	<input type="checkbox"/>			Unified Device Drivers compliant to CMSIS-Driver Specifications
Device	<input type="checkbox"/>			Startup, System Setup
Startup	<input checked="" type="checkbox"/>		1.2.2	DEPRECATED: System and Startup for Generic Arm Cortex-M3 device
File System	<input type="checkbox"/>	MDK-Pro	6.2.0	File Access on various storage devices
Graphics	<input type="checkbox"/>	MDK-Pro	5.26.1	User Interface on graphical LCD displays
Network	<input type="checkbox"/>	MDK-Pro	6.2.0	IP Networking using Ethernet or Serial protocols
Segger Tools	<input type="checkbox"/>			
Tencentos tiny	<input type="checkbox"/>			
arch	<input checked="" type="checkbox"/>		1.0.1	arch for arm_v7m_cortex_m3_armcc
cmsis_os	<input type="checkbox"/>		1.0.1	cmsis_os for tiny-os
cmsis_os2	<input type="checkbox"/>		1.0.1	cmsis_os for tiny-os
example	<input type="checkbox"/>			
helloworld_main_1	<input checked="" type="checkbox"/>		1.0.1	示例程序1
helloworld_main_2	<input type="checkbox"/>		1.0.1	示例程序2
mcu_itc	<input type="checkbox"/>		1.0.1	Interrupt function modification
mcu_platform.h	<input checked="" type="checkbox"/>		1.0.1	mcu_platform
tos_config	<input checked="" type="checkbox"/>		1.0.1	tos_config_cortex_m3
kernel	<input checked="" type="checkbox"/>		1.0.1	kernel for tiny-os
core	<input checked="" type="checkbox"/>		1.0.1	kernel for tiny-os
hal	<input checked="" type="checkbox"/>		1.0.1	kernel for tiny-os
USB	<input type="checkbox"/>	MDK-Pro	6.2.0	USB Communication with various device classes
mbed	<input type="checkbox"/>			

图 3.3 勾选组件

接下来点击 Options for target, 选中 Use MicroLIB。

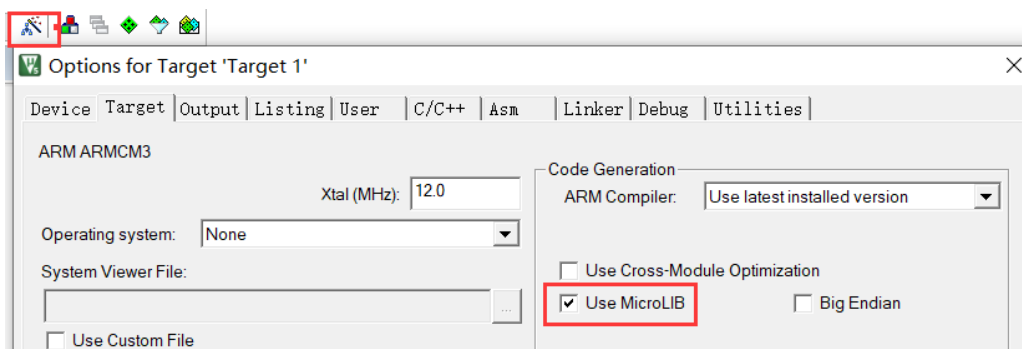


图 3.4 选中 Use MicroLIB

然后在 mcu_platform.h 中添加#include "ARMCM3.h"和#include "core_cm3.h"头文件。

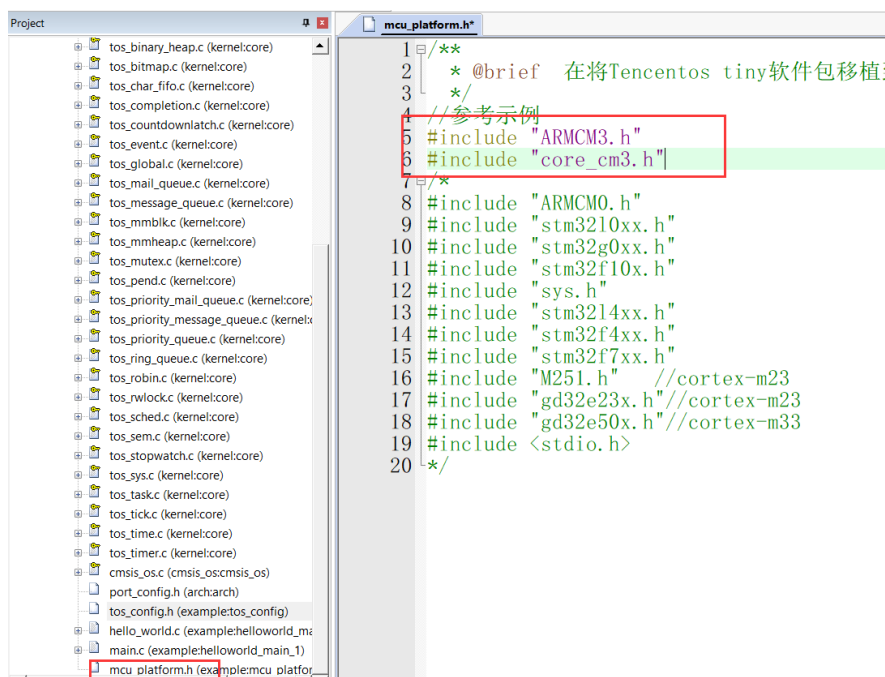


图 3.5 添加对应内核的头文件

最后点击 Build 图标进行测试，如图 3.6 所示：

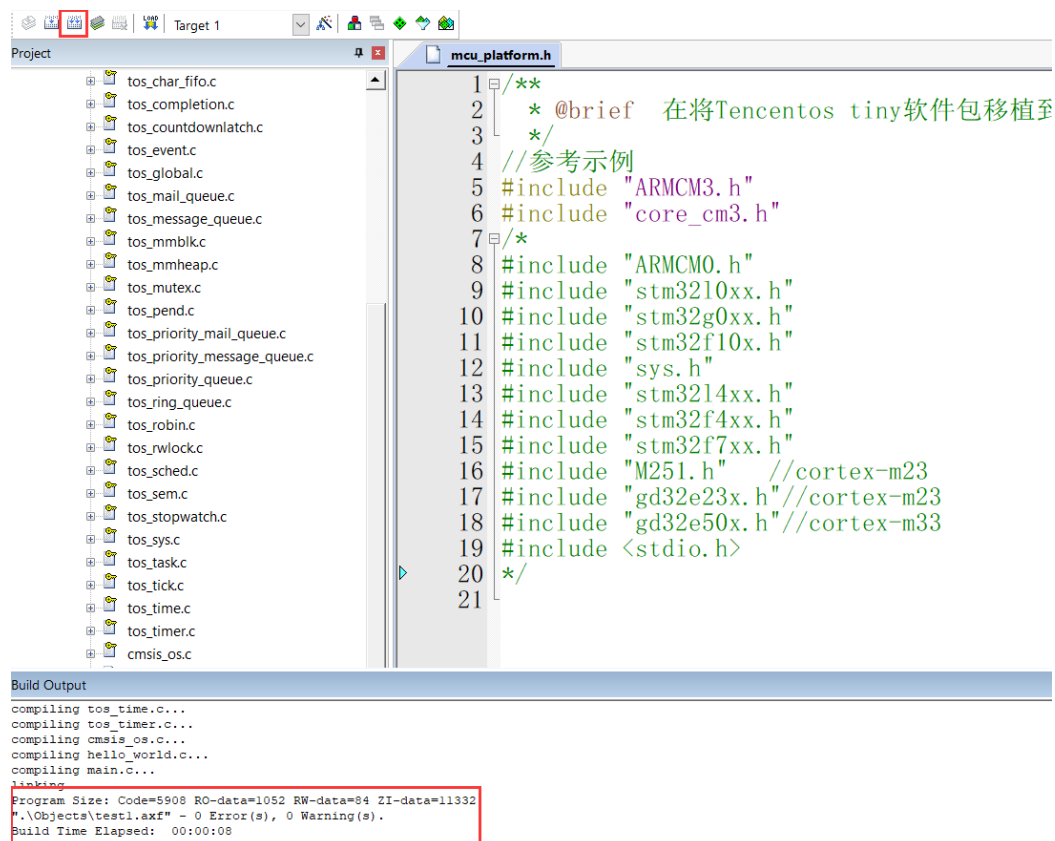


图 3.6 编译测试

与之类似，如果要在 ARM Cortex-M4 内核下对本软件包进行测试，只需要在上述步骤修改 mcu_platform.h 中的头文件为#include "ARMCM4.h"和#include "core_cm4.h"即可，如果是其他内核则对应修改头文件。

3.2 STM32 不依赖裸机工程移植

接下来选取具体单片机芯片，进行软件包的测试，按照以下步骤：

在网站 [MDK5 Software Packs \(keil.com\)](https://www.keil.com/pack/MDK5_Software_Packs)上下载 STM32F1 的软件支持包，如图 3.7 所示，并进行安装。

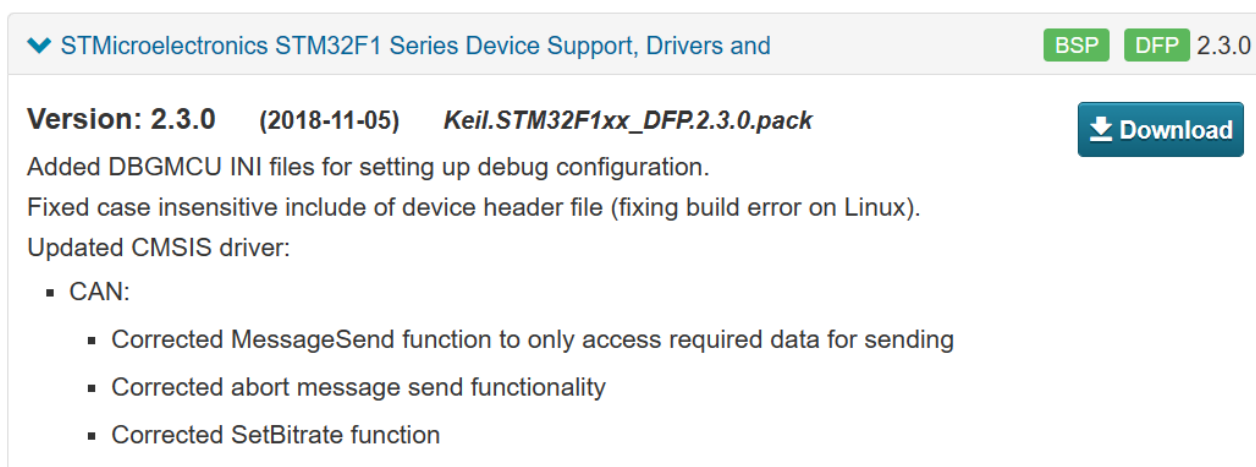


图 3.7 STM32 软件支持包

新建工程，选择芯片为 STM32F103C8，如图 3.8 所示，然后点击 ok，按照图 3.9 所示，选择 Tencentos-tiny 软件包的组件和 STM32 的启动文件。

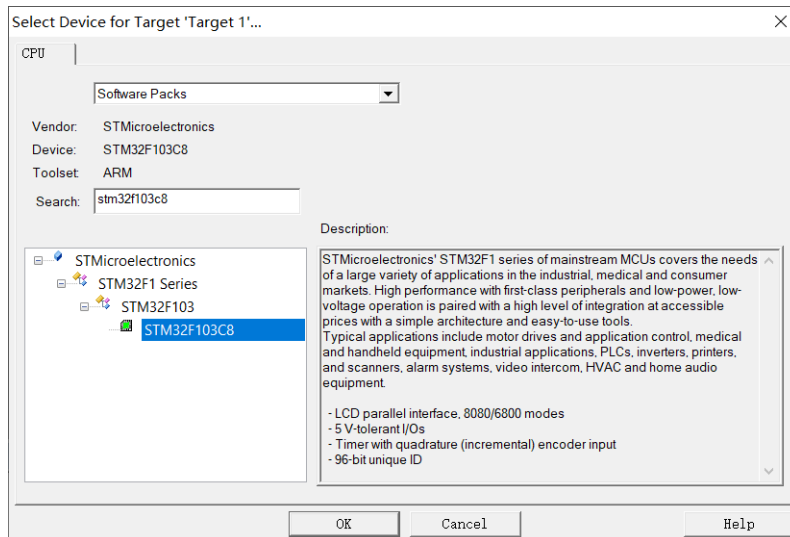


图 3.8 选择 STM32F103C8 芯片

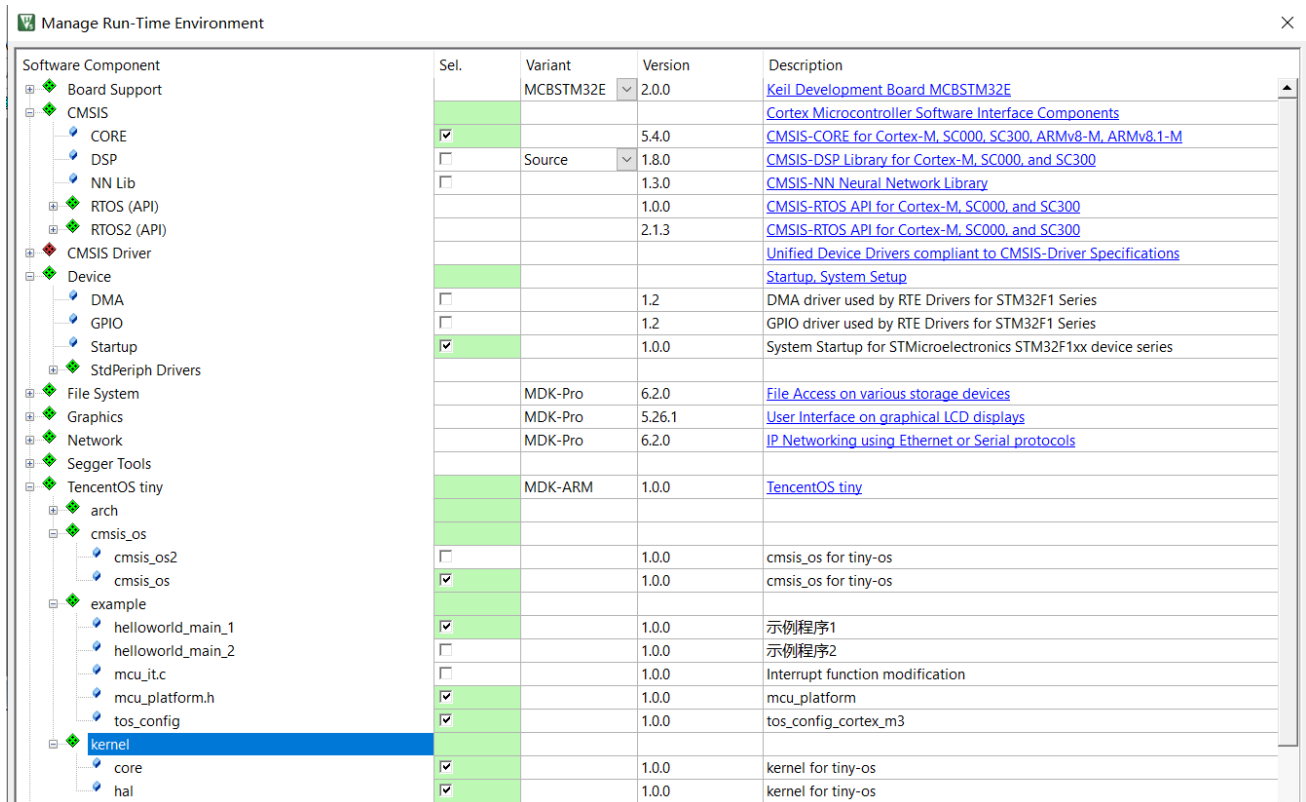


图 3.9 选择组件

然后按照图 3.10 所示勾选 Use MicroLIB。

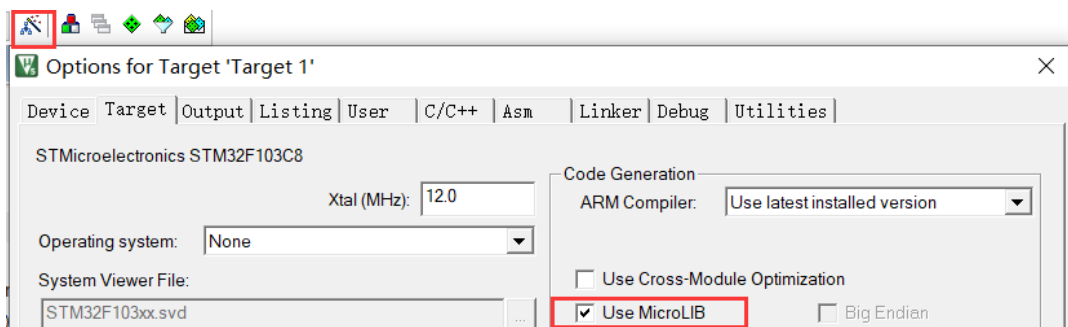


图 3.10 选择组件

然后按照图 3.11，在 mcu_platform.h 中添加以下头文件：

```
#include "stm32f10x.h"
#include "core_cm3.h"
#include "system_stm32f10x.h"
```

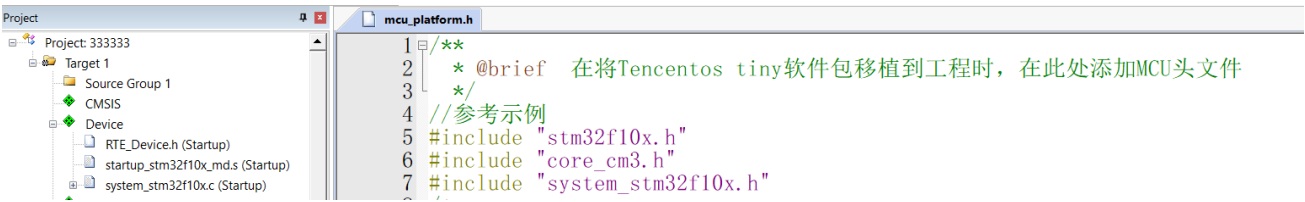


图 3.11 修改 mcu_platform.h

最后点击 Build 编译，没有报错则移植成功。

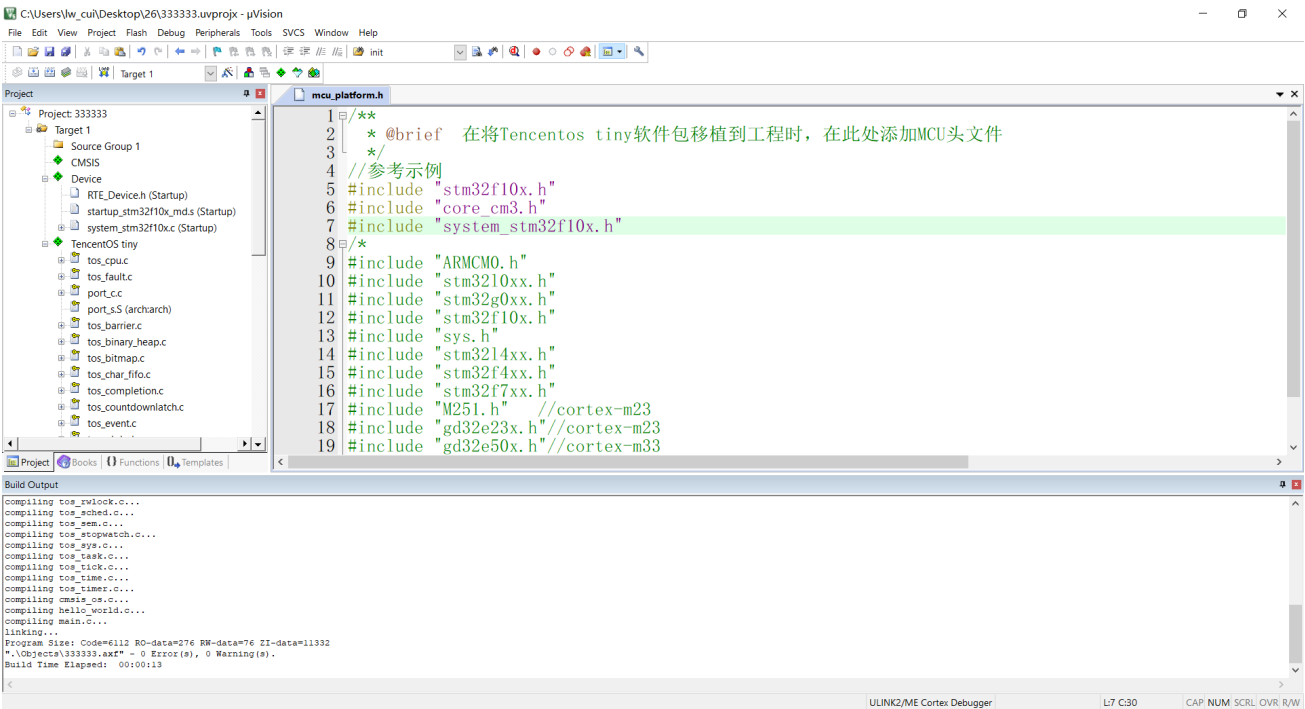


图 3.12 编译界面

3.3 单片机裸机工程移植

最后对单片机开发板进行测试，以正点原子探索者 STM32F407ZGT6 为例介绍 Tencentos-tiny 软件包的移植。如下图为软件包勾选的内容：

Tencentos tiny			
arch			
arch	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.1	arch for arm_v7m_cortex_m4_armcc
cmsis_os			
cmsis_os2	<input type="checkbox"/>	1.0.1	cmsis_os for tiny-os
cmsis_os	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.1	cmsis_os for tiny-os
example			
helloworld_main_1	<input type="checkbox"/>	1.0.1	示例程序1
helloworld_main_2	<input type="checkbox"/>	1.0.1	示例程序2
mcu_itc	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.1	Interrupt function modification
mcu_platform.h	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.1	mcu_platform
tos_config	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0.1	tos_config_cortex_m4
kernel			

图 3.13 软件包组件勾选

在正点原子探索者 STM32F407ZGT6 裸机工程模板中移植软件包后的界面如图 3.14 所示：

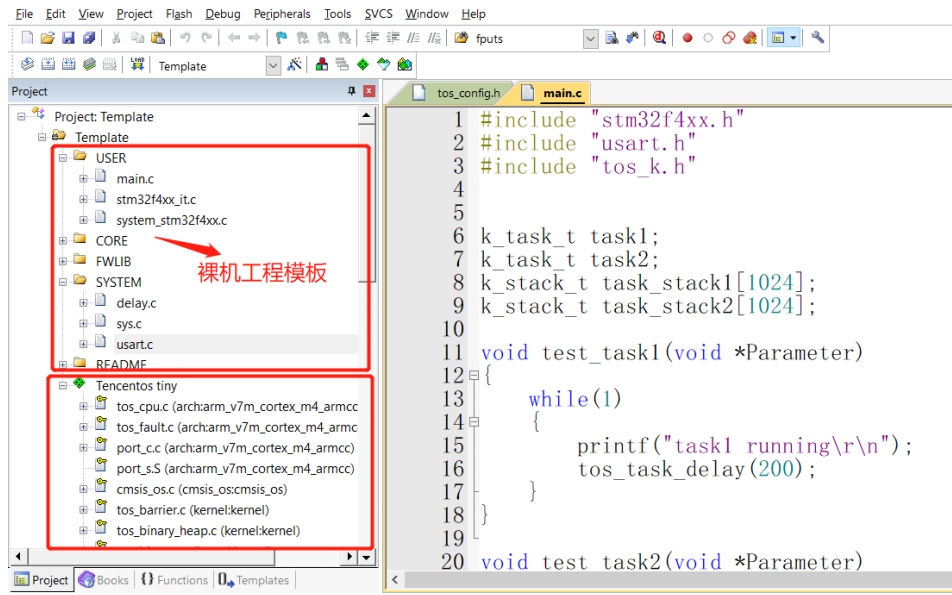


图 3.14 移植界面

然后按照 mcu_it.c 对 stm32f4xx_it.c 中的 PendSV_Handler()函数和 SysTick_Handler()函数进行修改，如下图所示，注释 stm32f4xx_it.c 中的 PendSV_Handler() 函数，并修改 SysTick_Handler()函数。

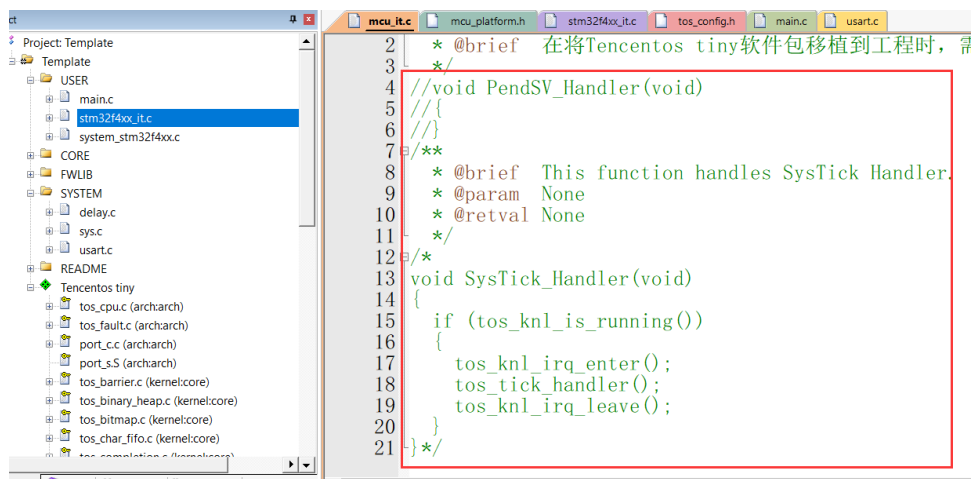


图 3.15 函数修改

接下来，使用如下 main 程序：

```
#include "stm32f4xx.h"
#include "usart.h"
#include "tos_k.h"
k_task_t task1;
k_task_t task2;
k_stack_t task_stack1[1024];
k_stack_t task_stack2[1024];
void test_task1(void *Parameter)
{
    while(1)
    {
        printf("task1 running\r\n");
    }
}
```



```

        tos_task_delay(200);
    }
}

void test_task2(void *Parameter)
{
    k_err_t err;
    printf("task2 running\r\n");
    tos_task_delay(2000);
    // suspend task1 暂停
    printf("suspend task1\r\n");
    err = tos_task_suspend(&task1);
    if(err != K_ERR_NONE)
        printf("suspend task1 fail! code : %d \r\n",err);
    tos_task_delay(2000);
    // resume task1 恢复
    printf("resume task1\r\n");
    err = tos_task_resume(&task1);
    if(err != K_ERR_NONE)
        printf("resume task1 fail! code : %d \r\n",err);
    tos_task_delay(2000);
    // destroy task1 销毁
    printf("destroy task1\r\n");
    err = tos_task_destroy(&task1);
    if(err != K_ERR_NONE)
        printf("destroy task1 fail! code : %d \r\n",err);
    // task2 running
    while(1)
    {
        printf("task2 running\r\n");
        tos_task_delay(1000);
    }
}

/**
 * @brief 主函数
 * @param 无
 * @retval 无
 */

int main(void)
{
    k_err_t err;
    /*初始化 USART 配置模式为 115200 8-N-1, 中断接收*/
    uart_init(115200);
    printf("Welcome to TencentOS tiny\r\n");
    tos_knl_init(); // TOS Tiny kernel initialize
    tos_robin_default_timeslice_config((k_timeslice_t)500u);
    printf("create task1\r\n");

```

```

err = tos_task_create(&task1, "task1", test_task1, NULL, 3, task_stack1, 1024, 20);
if(err != K_ERR_NONE)
    printf("TencentOS Create task1 fail! code : %d \r\n",err);
printf("create task2\r\n");
err = tos_task_create(&task2, "task2", test_task2, NULL, 4, task_stack2, 1024, 20);
if(err != K_ERR_NONE)
    printf("TencentOS Create task2 fail! code : %d \r\n",err);
tos_knl_start(); // Start TOS Tiny
}

```

然后点击编译，并利用 ST LINK-V2 将程序下载到单片机上，如图 3.16，然后将单片机的串口与电脑连接起来，利用 XCOM 串口通讯助手进行查看，结果如图 3.17 所示。

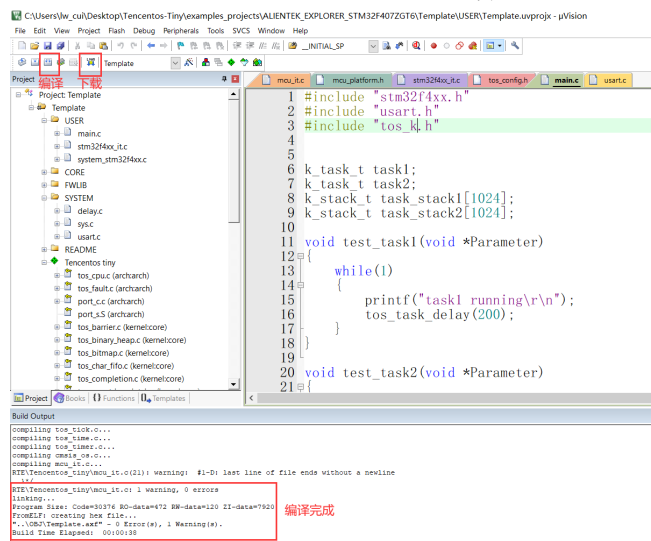


图 3.16 编译界面

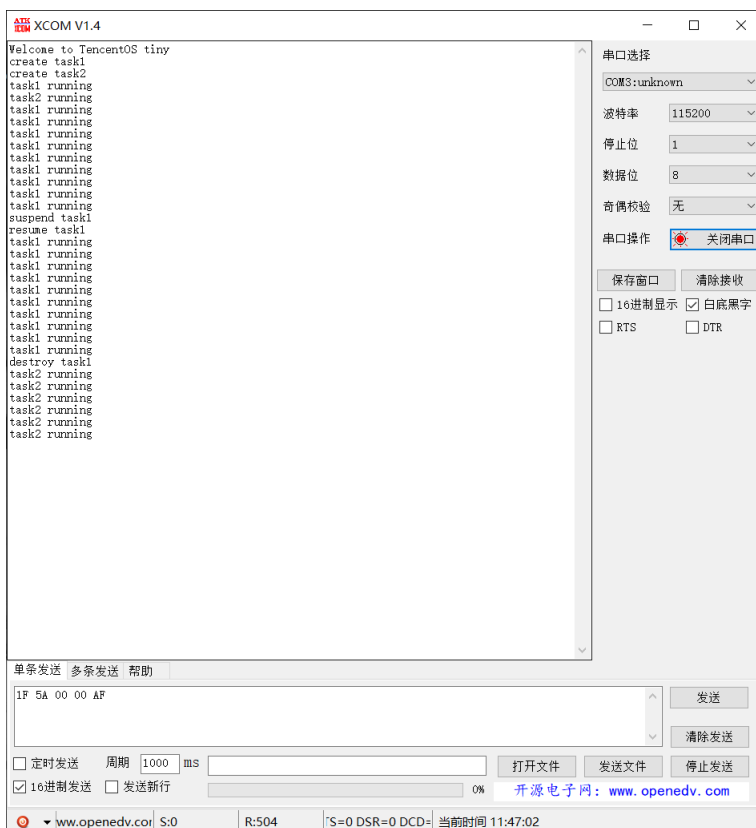


图 3.17 测试界面

另外，在编译过程中如果遇到图 3.18(a)的报错，需要将图 3.18(b)中的#define TOS_CFG_OBJECT_VERIFY_EN 1u 修改为 TOS_CFG_OBJECT_VERIFY_EN 0u

```
Build Output
compiling tos_priority_queue.c...
compiling tos_ring_queue.c...
compiling tos_robin.c...
compiling tos_rwlock.c...
compiling tos_sched.c...
compiling tos_sem.c...
D:\Program Files (x86)\Keil_5\ARM\PACK\TencentOS\tiny\2.0.8\kernel\core\tos_sem.c(66): error: #136: struct "k_sem_st" has no field "knl_obj"
    knl_object_alloc_set_dynamic(&the_sem->knl_obj);
D:\Program Files (x86)\Keil_5\ARM\PACK\TencentOS\tiny\2.0.8\kernel\core\tos_sem.c(91): error: #136: struct "k_sem_st" has no field "knl_obj"
    if (knl_object_alloc_is_dynamic(&sem->knl_obj)) {
D:\Program Files (x86)\Keil_5\ARM\PACK\TencentOS\tiny\2.0.8\kernel\core\tos_sem.c: 0 warnings, 2 errors
compiling tos_stopwatch.c...
compiling tos_sys.c...
```

(a)

```
tos_config.h
1 #ifndef TOS_CONFIG_H
2 #define TOS_CONFIG_H
3
4 #include "stm32f4xx.h"
5
6 #define TOS_CFG_TASK_PRIO_MAX 10u
7
8 #define TOS_CFG_ROUND_ROBIN_EN 1u
9
10 #define TOS_CFG_OBJECT_VERIFY_EN 1u
11
12 #define TOS_CFG_TASK_DYNAMIC_CREATE_EN 0u
13
```

(b)

图 3.18 报错修改

4、总结

本文首先研究了基于 MDK 完成第三方软件包封装的开发过程，并编写了软件包制作的步骤，然后结合 TencentOS Tiny 物联网操作系统，对其中的 ARM 内核架构下的文件进行了封装，从而设计了基于 TencentOS Tiny 的软件包。

本软件包能够方便开发者快速地将 TencentOS Tiny 操作系统移植到用户的 ARM 内核单片机上，大大节省了开发移植的时间，同时软件包具有自动适配内核和依赖提示的功能，能够提高移植的效率。

5、开发参考

- 1、腾讯物联网操作系统网址 <https://github.com/OpenAtomFoundation/TencentOS-tiny>
- 2、MDK5 软件包 [MDK5 Software Packs \(keil.com\)](https://www.keil.com/pack/MDK5_Software_Packs/)
- 3、制作软件包培训视频 <https://www.bilibili.com/video/BV1AK411p7d9>
- 4、制作软件包博客 https://blog.csdn.net/qq_40259429/article/details/119320319
- 5、制作简易软件包 <https://www.cnblogs.com/libra13179/p/6273415.html>
- 6、CMSIS-Driver 软件包 [ARM-software/CMSIS-Driver: Repository of microcontroller peripheral driver implementing the CMSIS-Driver API specification \(github.com\)](https://github.com/ARM-software/CMSIS-Driver: Repository of microcontroller peripheral driver implementing the CMSIS-Driver API specification)