Linux embarqué avec Yocto

Développement du code métier

Christophe BLAESS

christophe.blaess@logilin.fr

https://www.blaess.fr/christophe/
twitter: @chrisblaess

Ingénierie et formations sur Linux et les logiciels libres
https://www.logilin.fr

Ce cours a été rédigé en utilisant des logiciels libres sur système d'exploitation Linux :

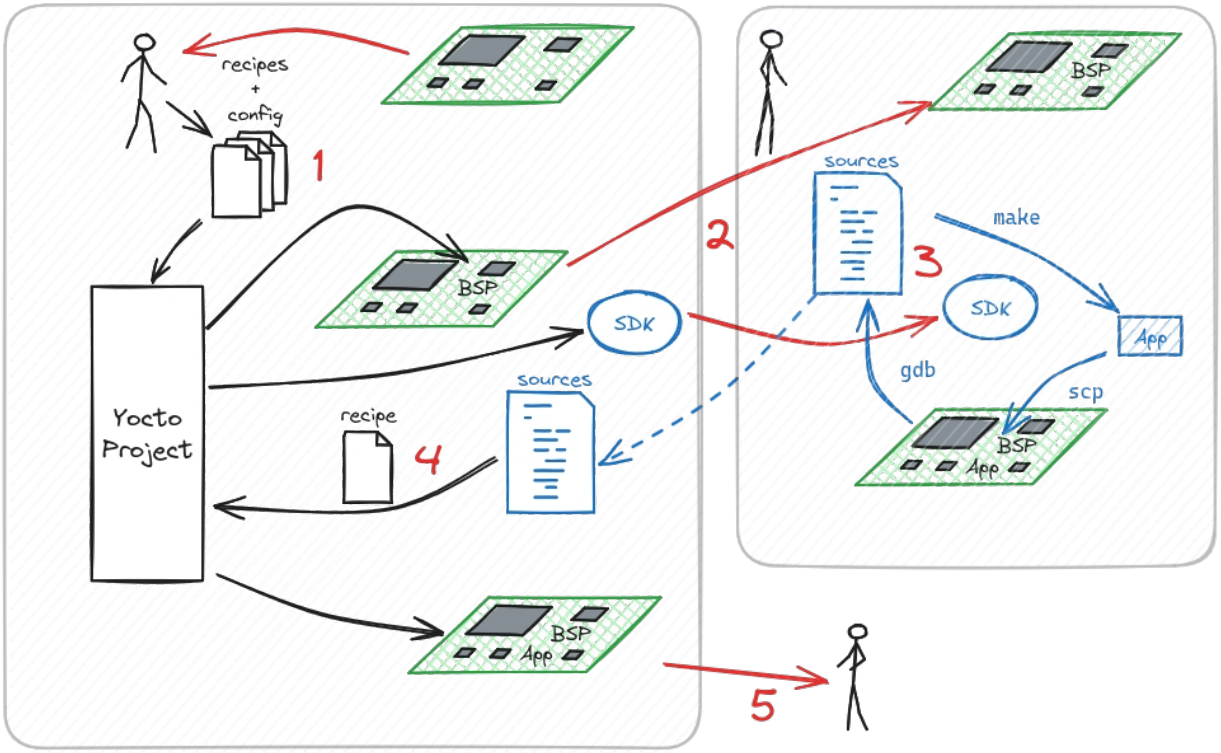
- *LibreOffice Writer* pour le support et la mise en page
- *LibreOffice Draw* pour les dessins vectoriels
- *Gimp* pour les images bitmap
- *Excalidraw* (en ligne) pour certains schémas

ILY v. 7.6

https://www.blaess.fr/christophe/

https://www.logilin.fr

Workflow du développement embarqué



1. L'équipe de développement BSP prépare le support pour une nouvelle carte embarquée.
2. L'équipe BSP fournit la carte et son SDK aux développeurs applicatifs.
3. Les développeurs applicatifs mettent au point le code métier en utilisant le SDK.
4. Les développeurs BSP intègrent le code métier en écrivant les recettes nécessaires.
5. La carte comportant le BSP et le code métier est livrée aux clients.

Intégration de scripts personnalisés

Notre système de fichiers est en lecture-seule, néanmoins il peut être nécessaire de le remonter temporairement en lecture-écriture pour faire de brèves modifications.

Créons l'arborescence suivante : **`meta-my-layer / recipes-custom / rw-ro /`**

Puis la recette **`rw-ro_1.0.bb`** :

```
SUMMARY = "Custom rw and ro scripts."
SECTION = "custom"

LICENSE = "MIT"
LIC_FILES_CHKSUM = "file://${COMMON_LICENSE_DIR}/MIT;md5=0835ade698e0bcf8
506ecda2f7b4f302"

SRC_URI += "file://ro"
SRC_URI += "file://rw"

do_install() {
        install  -d   ${D}${sbindir}
        install  -m 0755  ${WORKDIR}/ro  ${D}${sbindir}
        install  -m 0755  ${WORKDIR}/rw  ${D}${sbindir}
}
```

Pour optimiser le traitement par Bitbake, on peut ajouter la ligne :

```
inherit allarch
```

si tous les fichiers installés sont indépendants de l'architecture (scripts, fichiers de données, etc.).

Dans un sous-répertoire **`files/`** les deux scripts suivants :

`rw` :

```
#!/bin/sh

mount  /  -o  rw,remount
```

`ro` :

```
#!/bin/sh

mount  /  -o  ro,remount
```

Ne pas oublier de rajouter la recette `rw-ro` dans `IMAGE_INSTALL`.

Travaux pratiques

Créez un script Python de type « *Hello World* ».

Créez une recette pour installer ce script sur la cible.

La recette devra s'assurer de l'installation du package « `python3-core` ».

Solution

```
[build-qemu]$ mkdir ../../layers/meta-my-layer/recipes-custom/hello-python

[build-qemu]$ mkdir ../../layers/meta-my-layer/recipes-custom/hello-python/
hello-python

[build-qemu]$ nano ../../layers/meta-my-layer/recipes-custom/hello-python/
hello-python/hello-python
```

```
#! /usr/bin/python3
print("Hello from my Python script")
```

```
[build-qemu]$ nano ../../layers/meta-my-layer/recipes-custom/hello-python/
hello-python_1.0.bb
```

```
SUMMARY = "Python script to display Hello World"
LICENSE = "MIT"
LIC_FILES_CHKSUM = "file://${COMMON_LICENSE_DIR}/MIT;md5=0835ade698e0bcf8
506ecda2f7b4f302"

SRC_URI = "file://hello-python"

RDEPENDS:${PN} = "python3-core"

do_install() {
     install -d ${D}${bindir}
     install -m 0755  ${WORKDIR}/hello-python  ${D}${bindir}
}
```

Cross compilation du code métier

La chaîne de compilation Gnu : GCC (Gnu Compiler Collection)

Le projet GCC fournit des compilateurs pour différents langages, utilisables sur de très nombreuses plates-formes, et produisant du code pour divers processeurs :

- `gcc` – (*Gnu C Compiler*) Langage C et Objective-C ;
- `g++` – Langage C++
- `gobjc` – Objective-C++ ;
- `g77` – Langage fortran 77 (avant GCC 4) ;
- `gfortran` – Langage fortran 95 (depuis GCC 4) ;
- `gcj` – Langage Java compilation en pseudo-code ou en code natif ;
- `gnat` – Langage Ada.

D'autres langages sont supportés par GCC mais les modules correspondants ne sont pas maintenus aussi régulièrement que ceux indiqués ci-dessus : Modula, Pascal, PL/I...

Pour compiler un noyau Linux, il est parfois nécessaire de vérifier le numéro de version du compilateur `gcc`. Pour compiler des applications classiques, il y a une compatibilité ascendante suffisante.

Le projet Gnu propose aussi d'autres compilateurs :

`gcl` (Common Lisp), `gprolog` (Prolog), `gst` (Small Talk), `gforth` (Forth),

D'autres compilateurs ou interpréteurs libres sont disponibles hors du projet Gnu :

Perl, Python, Tcl/Tk, Ruby, Scheme, Smart Eiffel, Pascal, Java, Objective Caml, Rexx, Logo...

Voir aussi

Web :

- *The Gnu Compiler Collection* : http://gcc.gnu.org/

Travaux pratiques : extraction de la *toolchain*

Préparation du SDK

```
[build-qemu]$ bitbake  -c populate_sdk my-image
```

Scripts résultats

```
[build-qemu]$ ls tmp/deploy/sdk
poky-glibc-x86_64-my-image-armv7vet2hf-neon-qemuarm-toolchain-4.0.17.host.manifest
poky-glibc-x86_64-my-image-armv7vet2hf-neon-qemuarm-toolchain-4.0.17.sh
poky-glibc-x86_64-my-image-armv7vet2hf-neon-qemuarm-toolchain-4.0.17.target.manifest
poky-glibc-x86_64-my-image-armv7vet2hf-neon-qemuarm-toolchain-4.0.17.testdata.json
```

La toolchain est prévue pour s'exécuter sur une architecture compatible avec celle mentionnée dans la variable ***SDKMACHINE****.*

```
[build-qemu]$ bitbake -e my-image | grep ^SDKMACHINE
SDKMACHINE="x86_64"
```

Le code produit par cette toolchain est configuré pour fonctionner sur l'architecture ***MACHINE_ARCH*** *:*

```
[build-qemu]$ bitbake -e my-image | grep ^MACHINE_ARCH
MACHINE_ARCH="qemuarm"
```

Installation de la toolchain

On peut transférer l'ensemble du répertoire `sdk/` vers un autre poste sur lequel on fait le développement du code métier.

```
[build-qemu]$ cd tmp/deploy/sdk/
[sdk]$ ./poky-glibc-x86_64-meta-toolchain-armv7vet2hf-neon-qemuarm-
toolchain-4.0.17.sh
Poky (Yocto Project Reference Distro) SDK installer version 4.0.17
==========================================================
Enter target directory for SDK (default: /opt/poky/4.0.17): ~/cross/
You are about to install the SDK to "/home/USER/cross". Proceed[Y/n]? Y
Extracting SDK.....................done
Setting it up...done
SDK has been successfully set up and is ready to be used.
[...]

[sdk]$ ls  ~/cross/sysroots/x86_64-pokysdk-linux/usr/bin/arm-poky-linux/
arm-poky-linux-addr2line  arm-poky-linux-gcc-ar      arm-poky-linux-ld.gold
arm-poky-linux-ar         arm-poky-linux-gcc-nm      arm-poky-linux-nm
arm-poky-linux-as         arm-poky-linux-gcc-ranlib  arm-poky-linux-objcopy
arm-poky-linux-c++filt    arm-poky-linux-gcov        arm-poky-linux-objdump
arm-poky-linux-cpp        arm-poky-linux-gcov-tool   arm-poky-linux-ranlib
arm-poky-linux-dwp        arm-poky-linux-gdb         arm-poky-linux-readelf
arm-poky-linux-elfedit    arm-poky-linux-gprof       arm-poky-linux-size
arm-poky-linux-g++        arm-poky-linux-ld          arm-poky-linux-strings
arm-poky-linux-gcc        arm-poky-linux-ld.bfd      arm-poky-linux-strip
```

Utilisation de la toolchain de Yocto

Plutôt que d'appeler directement le *cross-compiler*, il est préférable de *sourcer* le script

`environment-setup-*`

situé dans le répertoire d'installation, et d'utiliser les macros :

Macro	Défaut	Signification
`CC`	`gcc`	Compilateur C
`CXX`	`g++`	Compilateur C++
`CPP`	`gcc`	Préprocesseur C/C++
`AS`	`as`	Assembleur
`LD`	`ld`	Éditeur de liens
`AR`	`ar`	Archiveur

On peut utiliser (et compléter) les macros `CFLAGS`, `CXXFLAGS`, `CPPFLAGS`, `LDFLAGS` pour configurer l'action des outils ci-dessus.

Les variables `ARCH` et `CROSS_COMPILE` sont renseignées ; elles servent lors de la compilation du kernel ou de modules externes.

On se reportera directement au script pour voir l'ensemble des variables définies.

*Exemple de **`Makefile`** :*

```
CFLAGS += -Wall -g
CC ?= gcc

all: hello

hello: hello.c
	$(CC) $(CFLAGS) $(LDFLAGS) hello.c -o hello

clean:
	rm -f hello
```

*Avec un fichier **hello.c** :*

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

int main(void)
{
	char buffer[128];

	if (gethostname(buffer, 128) < 0)
		return EXIT_FAILURE;
	printf("Hello from %s\n", buffer);
	return EXIT_SUCCESS;
}
```

Testez une compilation native :

```
[custom-code]$ make
cc -Wall -g hello.c -o hello
[custom-code]$ ./hello
Hello from TR-B-01
[custom-code]$ make clean
rm -f hello
```

Lancez une cross-compilation :

```
[custom-code]$ source ~/cross/environment-setup-armv7vet2hf-neon-qemuarm-
poky-linux-gnueabi
[custom-comde]$ make
armv7vet2hf-neon-qemuarm-poky-linux-gcc  --sysroot=/home/USER/yocto-
training/cross/armv7vet2hf-neon-qemuarm-poky-linux  -O2 -pipe -Wall -g
hello.c -o hello
[custom-code]$ ./hello
-bash: ./hello : impossible d’exécuter le fichier binaire : Erreur de
format pour exec()
[custom-code]$ scp hello root@192.168.3.101:~/
root@192.168.3.101's password:
```

Sur la cible lancez l'exécutable :

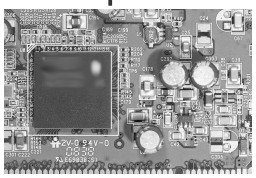
```
root@qemuarm:~# ./hello
Hello from qemuarm
```

Débogage distant

$ **arm-poky-linux-gnueabi-gdb ./hello**
[...]
(gdb) **target remote 192.168.7.2:1234**
Remote debugging using 192.168.7.2:1234
0x40000a70 in ??()
(gdb) **break main**
Breakpoint 1 at 0x8081491 : file hello.c line 12
(gdb) **continue**
...

192.168.7.2

192.168.7.1



$ **gdbserver 192.168.7.1:1234 ./hello**
Process hello created ; pid=779
Remote debugging from host 192.168.7.1
...

Sources graphiques : images 158675 et 3262915 sur Pixabay.

Travaux pratiques : débogage avec Gdbserver

Lancez gdbserver sur la cible :

```
root@qemuarm:~# gdbserver 192.168.7.1:4567 ./hello
Process /tmp/hello created; pid = 67
Listening on port 4567
```

Sur la plate-forme de développement :

```
[custom-code]$ ${GDB}  hello
GNU gdb
[...]
(gdb) target  remote  192.168.7.2:4567
Remote debugging using 192.168.7.2:4567
```

Observez sur la cible :

```
Remote debugging from host 192.168.7.1
```

```
[...]
(gdb) break  main
Breakpoint 1 at 0x4004c4: file hello.c, line 9.
(gdb) cont
Continuing.
Breakpoint 1, main () at hello.c:9
9           if (gethostname(buffer, 128) < 0)
(gdb) next
```

Observez la progression sur la cible...

`break [function, line, address]`	Pose d'un point d'arrêt
`info breakpoint`	Affichage des points d'arrêts
`delete <number>`	Effacement du point d'arrêt indiqué
`next`	Avancement d'une ligne sans entrer dans les fonction
`step`	Avancement d'une instruction en entrant dans les fonctions
`finish`	Poursuite jusqu'à la fin de la fonction courante
`continue`	Reprise de l'exécution normale
`print <variable>`	Affichage du contenu d'une variable
`list`	Listing du code
`x <address>`	Affichage du contenu de la mémoire
`disassemble [function, address]`	Désassemblage du code en mémoire
`backtrace`	Affichage du contenu de la pile
`thread <number>`	Basculement sur le thread indiqué
`set var <variable> = <value>`	Affectation d'une variable

Outils d'aide au débogage

Valgrind

Valgrind fait tourner une application en vérifiant ses interactions avec le système. Il est composé de différents modules, le plus utilisé est « `memcheck` » qui vérifie :

- la validité des pointeurs auxquels on accède ;
- la validité des pointeurs que l'on libère ;
- la quantité de mémoire allouée et libérée.

Il existe d'autres modules :

- `massif` pour connaître l'utilisation de la pile et du tas,
- `cachegrind` pour aider à l'optimisation d'un programme,
- `helgrind` pour vérifier les accès concurrents dans les processus *multithreads*.

Sur le PC :

```
[custom-code]$ ${CC} -g example.c -o example
[custom-code]$ scp example  root@192.168.7.2:~/
```

Sur la cible :

```
root@qemuarm:~# valgrind --tool=memcheck  ./example
```

Intégration du code métier

Principes des recettes

Une recette est un fichier de texte décrivant comment produire un package en partant de ses sources.

La syntaxe des recettes est un mélange de scripts Shell et Python.

Les recettes sont analysées et traitées par Bitbake, il s'agit de fichiers avec l'extension `.bb` ou `.bbappend`.

Un fichier `.bbappend` permet de surcharger le contenu d'une recette standard. Il est également possible d'inclure des fichiers externes.

Il peut y avoir des dépendances entre recettes (présence d'une bibliothèque par exemple).

Nom du fichier recette

Le fichier est nommée à partir du nom du package et de son numéro de version séparés par un caractère *underscore* : *`nom-package_numéro-version`***`.bb`**.

Par exemple : `poky/meta/recipes-connectivity/dhcp/dhcp_4.3.5.bb`.

Lors de l'interprétation d'une recette les variables suivantes sont automatiquement définies :

- `BPN` (*Base Package Name*) composé de la première partie du nom du fichier (ex. `dhcp`)
- `PV` (*Package Version*) extrait du nom de fichier (ex. `4.3.5`)
- `BP` équivaut à `${PN}-${PV}`
- `PR` (*Package Release*) par défaut `r0`.

Plusieurs recettes aux fonctionnalités connexes peuvent inclure un fichier commun. Par exemple `dhcp_4.3.5.bb` commence par la ligne :

```
require dhcp.inc
```

Le fichier `dhcp.inc` est dans le répertoire `poky/meta/recipes-connectivity/dhcp/`

Les directives **`require`** et **`include`** recherchent le fichier `.inc` dans les répertoires contenus dans la variable **`BBPATH`**. La directive `include` n'échoue pas si le fichier n'est pas trouvé.

Contenu d'une recette

Informations sur l'application

*La variable **SECTION** indique la catégorie d'application.*

```
SECTION = "console/network"
```

*Les variables **SUMMARY** et **DESCRIPTION** contiennent un résumé et un descriptif détaillé de l'application*

```
SUMMARY = "Internet Software Consortium DHCP package"
DESCRIPTION = "DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) is a protocol \
[...]
easier to administer devices."
```

*La variable **HOMEPAGE** renvoie vers la page principale du projet.*

```
HOMEPAGE = "http://www.isc.org/"
```

*La variable **LICENSE** décrit la licence du logiciel et **LIC_FILES_CHKSUM** indique le fichier contenant le texte de la licence et une somme de contrôle.*

```
LICENSE = "ISC"
LIC_FILES_CHKSUM = "file://LICENSE;beginline=4;md5=c5c64d696107f84b56fe337d
14da1753"
```

*Les variables **DEPENDS** et **RDEPENDS** indiquent les noms des packages indispensables pour la compilation et l'exécution de l'application.*

```
DEPENDS = "openssl bind"
```

`RDEPENDS` signifie « *Runtime Dependencies* ».

Accès aux sources

*La variable **SRC_URI** contient la liste des fichiers sources pour le package.*

```
SRC_URI = "ftp://ftp.isc.org/isc/dhcp/${PV}/dhcp-${PV}.tar.gz \
           file://init-relay     file://default-relay \
           [...]
           file://search-for-libxml2.patch "
```

Les URI (*Uniform Resource Identifier*) ont le format suivant :

```
method://url;parameters
```

Méthodes :

- locale : `file://name` : fichiers recherchés dans les répertoires de `FILESPATH`
- distantes : `http:// https:// ftp:// git:// ...`

Pour la méthode `git://` on ajoute souvent un paramètre `branch=name` et une variable **`SRCREV`** contenant l'identifiant de commit.

Pour les méthodes distantes sans contrôle d'intégrité (`http`, `https`, `ftp`, etc.) on ajoute une somme de contrôle dans la variable **`SRC_URI[md5sum]`** ou **`SRC_URI[sha256sum]`**.

Les archives `tar` sont décompressées et doivent donner un répertoire correspondant au motif `${PN}-${PV}`. Sinon il faut remplir explicitement **la variable `S`** avec le nom du répertoire.

Tâches de construction

Les tâches successives de Bitbake pour une recette sont décrite par la commande `listtasks` :

```
$ bitbake -c listtasks  dhcp
```

Les tâches les plus courantes sont :

`do_fetch`, `do_checkuri`, `do_unpack`, `do_patch`, `do_configure`, `do_compile`, `do_install`, `do_package`, `do_populate_sysroot`

Elles sont implémentées sous forme de fonctions shell avec un éventuel suffixe `:append` ou `:prepend` :

```
do_install:append () {
  install -d ${D}${sysconfdir}/init.d
  install -d ${D}${sysconfdir}/default
  install -d ${D}${sysconfdir}/dhcp
  install -m 0755 ${WORKDIR}/init-relay ${D}${sysconfdir}/init.d/dhcp-relay
  [...]
}
```

La **variable `D`** représente la racine du système de fichiers temporaire avant création de l'image.

La variable **`WORKDIR`** contient le répertoire de travail pour cette recette

Pour éviter de réécrire des tâches similaires dans plusieurs recettes, on utilise un mécanisme d'héritage. Il existe de nombreuses classes implémentant des fonctionnalités communes aux recettes.

On hérite d'une classe en insérant la ligne « `inherit` *`class`* » dans une recette.

```
$ grep  inherit  meta/recipes-connectivity/dhcp/dhcp.inc
inherit autotools systemd useradd update-rc.d
```

Les classes sont des fichier d'extension `.bbclass`, situés dans le sous-répertoire `classes/` d'un layer.

```
$ ls meta/classes/
[...]
autotools.bbclass                   mime.bbclass
[...]
image-live.bbclass                  systemd.bbclass
[...]
libc-package.bbclass                update-rc.d.bbclass
[...]
linux-kernel-base.bbclass           useradd.bbclass
```

Les classes principales sont « `base` » (automatiquement héritée par toutes les recettes), « `autotools` », « `cmake` », « `kernel` », « `useradd` »...

Travaux pratiques : développer une recette pour son code métier

Créez d'abord une petite application et son Makefile dans un répertoire dédié :

```
[training]$ mkdir my-app
```

my-app/my-app.c :

```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
        printf("Hello from my recipe!\n");
        return 0;
}
```

my-app/Makefile :

```
DESTDIR ?= /usr/local/bin

all: my-app

my-app: my-app.c
     $(CC) $(CFLAGS) $(LDFLAGS) -o my-app my-app.c

install: my-app
     cp my-app $(DESTDIR)/

clean:
     rm -f  *.o my-app
```

Créez une archive de votre application :

```
[training]$ tar cjf my-app-1.0.tar.bz2  my-app/
```

Créez une arborescence pour votre recette :

```
[training]$ mkdir -p layers/meta-my-layer/recipes-custom/my-app/
```

Créez un répertoire pour votre package :

```
[training]$ mkdir layers/meta-my-layer/recipes-custom/my-app/files/
```

Copiez l'archive dans le répertoire :

```
[training]$ cp my-app-1.0.tar.bz2 layers/meta-my-layer/recipes-custom/my-
app/files/
```

Créez une recette dans votre layer personnel :

layers/meta-my-layer/recipes-custom/my-app/my-app_1.0.bb

```
SUMMARY = "My Application"
LICENSE = "CLOSED"
LIC_FILES_CHKSUM = ""
SRC_URI += "file://my-app-${PV}.tar.bz2"

S = "${WORKDIR}/${BPN}"

do_compile() {
    oe_runmake
}

do_install() {
    install -d ${D}${bindir}
    oe_runmake  DESTDIR=${D}${bindir}  install
}
```

Ajoutez votre recette dans l'image :

IMAGE_INSTALL:append += " my-app"

Puis demandez à `bitbake` de cuisiner votre recette ! ☺

Lancement d'une application au démarrage

Scripts de démarrage

Le processus **`/sbin/init`** lit le fichier **`/etc/inittab`** et agit en conséquence. Ce fichier contient une action à réaliser par ligne.

Chaque ligne contient plusieurs champs :

```
<Terminal>:<Niveau d'exécution>:<Type d'action>:<Commande>
```

*Le type d'action est généralement `sysinit` ou `respawn`. La ligne `id:5:initdefault:` indique que le niveau d'exécution au boot est **5**.*

Observez les scripts exécutés au démarrage

```
root@beaglebone:/# ls /etc/rcS.d/
S00psplash.sh                S06devpts.sh
S01keymap.sh                 S07bootlogd
S02banner.sh                 S29read-only-rootfs-hook.sh
S02sysfs.sh                  S36udev-cache
S03mountall.sh               S37populate-volatile.sh
S04udev                      S38dmesg.sh
S05modutils.sh               S38urandom
S06alignment.sh              S39hostname.sh
S06checkroot.sh              S55bootmisc.sh
```

```
root@beaglebone:/# ls /etc/rc5.d/
S01networking     S15mountnfs.sh    S99rmnologin.sh
S10dropbear       S20syslog         S99stop-bootlogd
```

Le script `rc` lance successivement tous les scripts se trouvant dans `/etc/rc<niveau>.d/` dont le nom commence par un `S` suivi d'au-moins deux caractères en leur fournissant l'argument `start`.

Travaux pratiques : intégration d'une application au démarrage

Éditez la recette `my-app_1.0.bb` et ajoutez les lignes suivantes :

```
SRC_URI += "file://run-my-app"

inherit  update-rc.d
INITSCRIPT_NAME = "run-my-app"
INITSCRIPT_PARAMS = "start 80 5 . stop 20 0 ."

do_install() {
    [...]
    install -d ${D}${sysconfdir}/init.d
    install -m 0755 ${WORKDIR}/run-my-app ${D}${sysconfdir}/init.d/

}
```

Et ajoutez le script suivant dans le répertoire `my-app/files/` :

```
run-my-app:
#!/bin/sh

/usr/bin/my-app &

exit 0
```