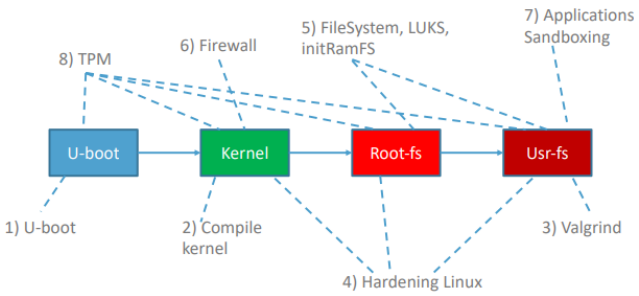
1 Introduction



1.1 Attaques

1. Attaques de surface
   (a) Utilisateurs des ports de debug
   (b) Connecteurs
   (c) Alimentations
2. Vecteurs d'attaque
   (a) Réseau (Ethernet, Wifi)
   (b) Application
   (c) Port série
   (d) USB, I2C, Flash, Bluetooth, GPS, etc...

1.2 Compilation pour nanopi

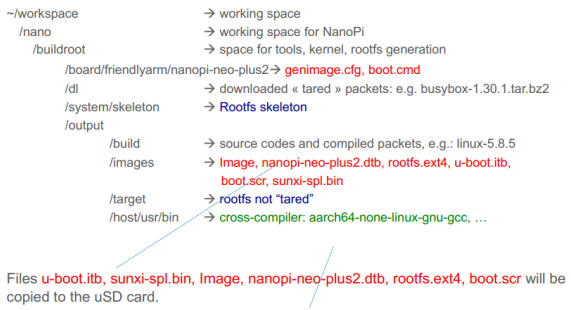
Cross-compilation (ARM) effectuée sur un système x86/x64. Buildroot est le toolchain utilisé. Les éléments suivants sont compilés :

1. Bootloader
2. Kernel
3. Rootfs

Puis les images sont copiées sur la carte SD

2 Buildroot

2.1 Répertoires



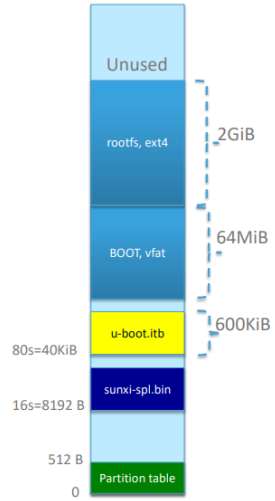
Ce qui est manquant dans le dossier output sera recompilé lorsque la commande `make` est lancée (ou alors en faisant la commande
`make <package>-rebuild`.
Le dossier `rootfs_overlay` permet d'ajouter des fichiers au `rootfs`
(`/workspace/nano/buildrootboard/friendlyarm/nanopi-neo-plus2/rootfs_overlay`)

2.2 Compilation

Dans le répertoire `buildroot`, effectuer la commande `make menuconfig` puis `make`. `make clean` pour effacer tous les fichiers compilés.
La configuration permet notamment de

1. Modifier le rootfs

2.3 Carte SD



Sector size = 512 Bytes

Area Name	From (Sector #)	To (Sector #)	Size
rootfs, ext4			2GiB
BOOT, vfat			64MiB
U-boot-itb	80		600KiB
sunxi-spl.bin	16	79	32KiB
MBR (partition table)	0	15	512B

`genimage.cfg` ⟶ `genimage` ⟶ `sdcard.img` ⟶ `dd` ⟶ carte SD

Les fichiers pour l'initialisation sont

`rootfs.ext`	Root file system
`Image`	Noyau Linux
`nanopo-neo-plus2.dtb`	Flattened device tree
`boot.scr`	Commandes boot compilées utilis
`boot.vfat`	Partition boot
`u-boot.itb`	Boot loader
`sunxi-spl.bin`	Secondary Program Loader

`boot.vfat` contient `Image`, `nanopi-neo-plus2.dtb` et `boot.scr`. `boot.vfat` (ou `boot.ext4`) permet de créer `BOOT` sur la carte SD

2.3.1 rootfs

Contient `/bin`, `/sbin`, `/root`, `/etc`, etc...

2.3.2 boot.scr

Le fichier `boot.scr` est utilisé par u-boot pour charger le kernel Linux. Il est créé avec la commande `mkimage`

2.3.3 boot.cmd

`boot.cmd` contient des informations de démarrage, notamment les emplacements des différents l'emplacement de `nanopi-neo-plus2.dtb`, du kernel et (si présent) de l'initramfs

2.4 Séquence de démarrage (6 phases)

1. Lorsque le μP est mis sous tension, le code stocké dans son BROM va charger dans ses 32KiB de SRAM interne le firmware `sunxi-spl` stocké dans le secteur no 16 de la carte SD / eMMC et l'exécuter.

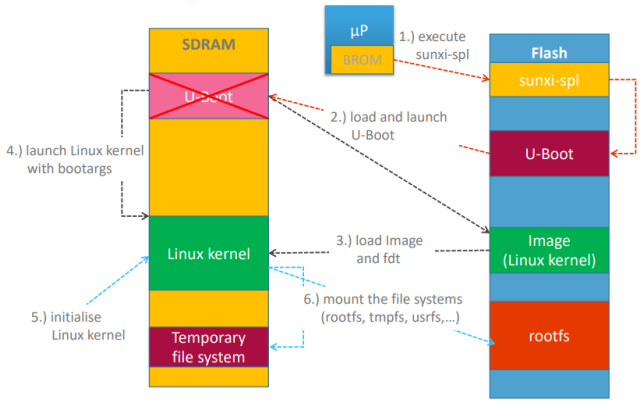
2. Le firmware `sunxi-spl` (Secondary Program Loader) initialise les couches basses du μP, puis charge l'U-Boot dans la RAM du μP avant de le lancer.

3. L'U-Boot va effectuer les initialisations hardware nécessaires (horloges, contrôleurs, ...) avant de charger l'image non compressées du noyau Linux dans la RAM, le fichier `Image`, ainsi que le fichier de configuration FDT (flattened device tree).

4. L'U-Boot lancera le noyau Linux en lui passant les arguments de boot (bootargs)

5. Le noyau Linux procédera à son initialisation sur la base des bootargs et des éléments de configuration contenus dans le fichier FDT (sun50i-h5-nanopi-neo plus2.dtb).

6. Le noyau Linux attachera les systèmes de fichiers (rootfs, tmpfs, usrfs, ...) et poursuivra son exécution.



3 U-boot

3.1 Compilation

On configure avec `make uboot-menuconfig` puis on effectue la compilation avec une des deux manières :

1. `make uboot-rebuild`
2. supprimer les fichiers puis `make`

La configuration de u-boot est stockée dans `.config`

3.1.1 Amélioration

Il est possible d'utiliser l'argument `-fstack-protector-all` pour ajouter des vérifications contre les buffer overflows (ou autres attaques sur le stack). Dans ce cas, un canary.
Si le canary est écrasé lors de l'éxécution d'un morceau de code. On sais qu'il y a eut un dépassement dans le stack.

3.2 Démarrage

Si on appuie sur une touche, on entre en mode u-boot.
La commande `booti` permet de lancer l'image linux (`boot` tout court va aussi lancer l'image Linux). Il existe aussi bootz pour charger une image compressée et bootm pour une image fit
Avec les commandes présentes dans `boot.cmd`, on indique l'emplacement dans la ram de `Image` et `nanopi-neo-plus.dtb`
Lors du démarrage, le Secondary Program Loader (sunxi-spl) va charger le fichier `u-boot.itb`

3.3 FDT (Flattened Device-Tree)

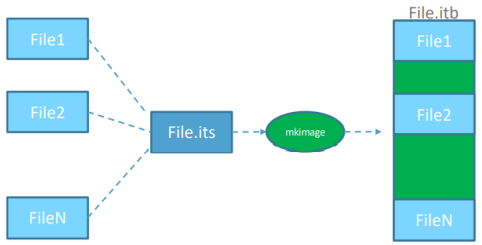
Le FDT contient une description hardware du système utilisée par Linux pour sa configuration. le FDT utilise deux fichiers :

- `.dts` : Device Tree Source (fichier ascii)
- `.dtb` : Device Tree Blob (fichier binaire)

Possibilité de passer de `.dts` à `.dtb` avec la commande `dtc`.
U-boot utilise le fichier `sun50i-h5-nanopi-neo-plus2.dts` pour configurer Linux sur le NanoPi (information sur le port série, le processeur, etc...).
Le FDT est stocké dans le fichier `u-boot.itb`

3.4 FIT (Flattened Image Tree)

Nouveau format qui permet d'insérer plusieurs fichiers dans un seul



La commande `mkimage` permet de convertir un fichier `.its` en un fichier `.itb`.
Le fichier `u-boot.itb` est construit avec la commande

```
mkimage -f u-boot.its -E u-boot.itb
```

4 Kernel

4.1 Compilation

On configure avec `make linux-menuconfig` (ou `make linux-xconfig`) puis on lance une compilation avec `make linux-rebuild`

4.1.1 Amélioration

Comme pour u-boot, on peut utiliser `-fstack-protector-all` pour ajouter une protection sur le stack.
Dans le menu, cela se traduit par l'activation de "Strong Stack Protector" et "Stack Protector buffer overflow protection".
Le "Randomize va space" permet de placer les éléments à des emplacements mémoire aléatoires (pour éviter d'en cibler un facilement).
Il est également possible d'optimiser le kernel pour la place OU pour les performances.
Il faut absolument strip avant de déployer (il existe une option pour strip le linux dans le menuconfig).
On peut également restreindre l'accès au syslog (system logs).
La mise à 0 lors de l'allocation et/ou free de mémoire permet aussi d'éviter certaines attaques

4.2 Busybox

Busybox est un éxécutable qui combine beaucoup de fonctions de base (ls, mv, rm, cat, etc...). En mettant toutes ces commandes dans un seul programme, on réduit énormément les redondances et par conséquent la taille de l'éxécutable.
On peut également configurer busybox avec `make busybox-menuconfig` puis le compiler avec `make busybox-rebuild`

4.3 File systems

Les filesystems doivent être activés dans la configuration de Linux afin d'être utilisables

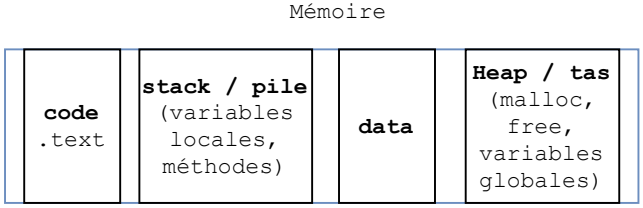
4.4 Réseau

Si le système n'est pas un routeur, on peut choisir de désactiver le routage et le `rp_filter` doit être activé sur toutes les interfaces.

4.5 Outils

- Générateurs de nombres aléatoires

4.6 Attaques



Éxecution sur le stack : Ii le stack est éxécutable, il est possible d'y placer du code puis de l'éxécuter (ce qui est de moins en moins le cas).

ret2libc : Permet de bypasser la non-éxécution du stack. Consiste à éxécuter du code dans une librairie comme libc.

ROP : Return-Oriented Programming. Éxécution de code malveillant à l'intérieur du programme lui-même

4.7 Protections

ASLR : Address Space Layout Randomization (changement des adresses de stack et heap) afin d'éviter les attaques `ret2libc`

PIE : Position de l'éxécutable modifiée pour éviter qu'une attaque soit faite (ou la rendre plus difficile)

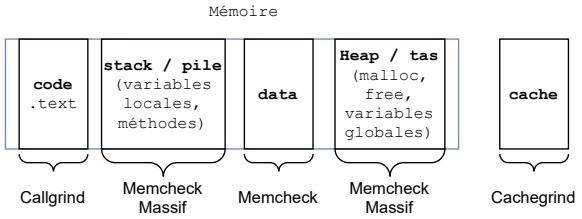
Canary : Variable qui permet de détecter un dépassement dans le stack

5 Valgrind

5.1 Outils de Valgrind

- Memcheck : Détection d'erreur mémoire
- Cachegrind : Profiler de mémoire cache
- Callgrind : Profiler de cache avec infos supp et graph
- Helgrind : Détection d'erreur de threads 1
- DRD : Détection d'erreur de threads 2
- Massif : Profiler de heap et stack (memory leak)
- DHAT : Profiler de bloc dans le heap

5.2 Utilisation des outils



5.3 Trouver le bon outil

L'outil Memcheck regroupe beaucoup de fonctionnalité. C'est lui qu'il faut utilisé en priorité

6 Hardening

6.1 De contrôler l'intégrité d'un package, d'un programme

9.1.4

7 File system

7.1 Génération

Squelette de rootfs dans `workspace/nano/buildroot/system/skeleton`.
Il est ensuite copié dans `buildroot/output/target` et les fichiers nécessaires y sont ensuite ajoutés.
Une fois que tous les fichiers sont ajoutés, une image `rootfs.xxx` est créé (xxx est ext4, squashfs, etc...)

7.2

7.3 1. De connaître les différents types de systèmes de fichiers ainsi que leurs applications

Pour les systèmes embarqués, il existe deux catégories de systèmes de fichiers : - Volatiles en RAM - Persitants sur des Flash (NOR et de plus en plus NAND)

Deux technologies principales sont disponible sur les Flash : - soit les MTD (Memory Technology Device) - les MMC/SD-Card (Multi-Media-Card / Secure Digital Card)

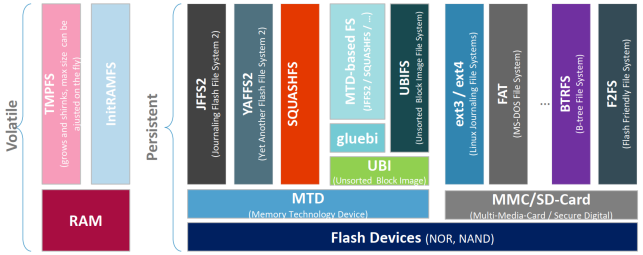


Figure 1: FS type

7.3.1 Choix d'un FS

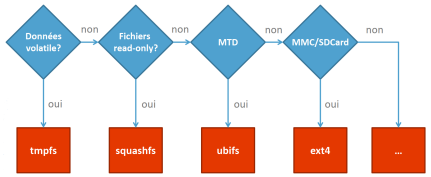


Figure 2: FS type

7.4 2. De connaître les caractéristiques des filesystems ext2-3-4, ainsi que les commandes associées

7.5 3. D'expliquer les différents "files systems" utilisés dans les systèmes embarqués (ext2-3-4, BTRFS, F2FS, NILFS2, XFS, ZFS, ...)

7.6 4. Expliquer les "files system" de type Journal, B_Tree/CoW, log filesystem

7.7 5. De connaître les caractéristiques du filesystem Squashfs, ainsi que les commandes associées

7.8 6. De connaître les caractéristiques du filesystem tmpfs, ainsi que les commandes associées

7.9 7. De connaître les caractéristiques du filesystem LUKS, ainsi que les commandes associées

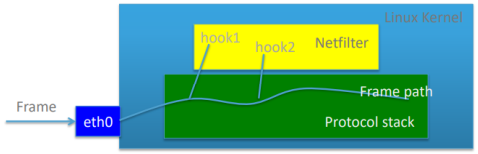
7.10 8. Savoir expliquer la gestion des clés de LUKS 42

7.11 9. De connaître les caractéristiques du filesystem InitramFS, ainsi que les commandes associées

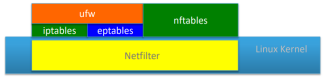
7.12 10. De savoir créer un initramFS

8 Firewall iptables

Il est nécessaire d'activer netfilter dans la configuration du kernel. Un hook est une étape lors du passage d'une trame dans le stack de protocoles. Le framework netfilter sera appelé à chaque hook



On peut configurer netfilter avec la commande `iptables`. `ebtables` permet de configurer la couche 2 uniquement (Linux bridge). `nftables` vise à remplacer tout le framework



8.1 Features

1. Stateless packet filtering (table filter et ACCEPT, DROP, REJECT)
2. Stateful packet filtering
3. Translation d'adresses / ports
4. API pour autres applications

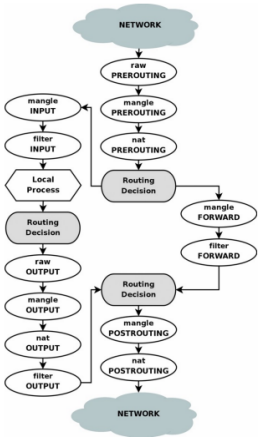
8.2 Chain

la combinaison Chain-Table constitue les hooks

Chains : INPUT, OUTPUT, FORWARD, PREROUTING, POSTROUTING

8.2.1 Tables

- raw
- mangle (modification spéciales sur des paquets)
- nat (consultée lorsqu'un paquet créé une nouvelle connexion)
- filter (table de base)



8.3 Commande iptables

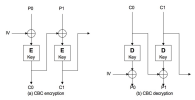
```
iptables -t table -COMMAND chain ... -j TARGET
```

9 TPM

9.1 Chiffrements

9.1.1 symétrique

- Une seul clé pour crypter et décrypter
- Codage par bloc ou par bloc chainé



- ```
  openssl enc -aes-256-cbc -e -in t.txt -out t
      .enc #encrypt

  openssl enc -aes-256-cbc -d -in t.enc -out t
      .txt #decrypt
  ```

9.1.2 asymétrique

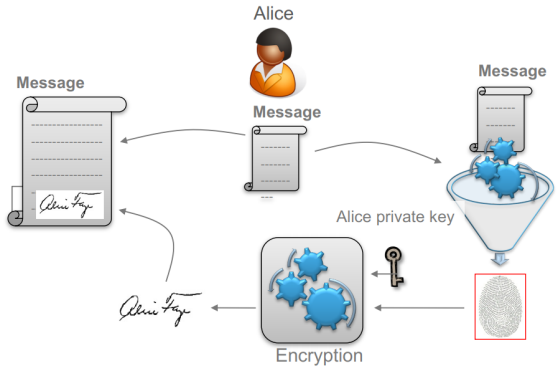
- Deux clés (publique et privée) clé publique disponible par des certificats (CMD pgp)
- Encrypt public - Decrypt private = confidentialité
- Encrypt private- Decrypt public = signature digitale

9.1.3 hash

Transforme un texte, document en un nombre de N bits unique (SHA-2, SHA-3, Blake2).
`md5sum file => a6a0e8d0522...` où `openssl dgst -md5 file`

9.1.4 signature

En deux parties: 1. Calcul du HASH puis encryptage avec clé privée.



9.2 Implémentations TPM

- discrete : Circuit dédié
- integrated : Partie du μC qui gère le TPM
- Hypervisor : virtuel fournis par personne fiable
- Software : virtuel pour faire des test pas sécurisé

9.3 Architecture interne

9.4 Hiérarchies

- endorsement : réservé au fabricant du TPM et fixé lors de la fabrication.
- platform : réservé au fabricant de l'hôte et peut être modifier par l'équipementier.
  ```

- owner : hiérarchie dédiée à l'utilisateur primaire du TPM peut être modifié en tout temps.
- null : réservé aux clés temporaires (RAM s'efface à chaque redémarrage)

9.5 Créer, utiliser clés

9.6 Commandes principales

```
tpm2_createprimary -C o -G rsa2048 -c o_prim #
    créer un clé primaire owner
tpm2_getcap handles-transient #voir clé dans
    la RAM
tpm2_getcap handles-persistent #voir clé dans
    la NV-RAM
tpm2_evictcontrol -c o_primary.ctx # sauver
    une clé en NV-RAM
tpm2_flushcontext! -t ##effacer toute la RAM
tpm2_create -C o_prim -G rsa2048 -u child_pub
    -r child_priv #créer clé enfant
tpm2_load -C o_prim -u child_pub -r child_priv
     -c child #charger clé enfant
shred passwd, rm -f passwd #supprimer de l'hô
    te
```

9.7 encrypter-décrypter, signer-vérifier

```
tpm2_rsaencrypt -c child -s rsaes clearfile -o
     encryptedfile
tpm2_rsadecrypt -c child -s rsaes
    encryptedfile -o clearfile
tpm2_sign -c child -g sha256 -o file.sign file
tpm2_verifysignature -c child -g sha256 -s
    file.sign -m file
```

9.8 Registres PCR

```
tpm2_pcrreset 0
tpm2_pcrextend 0:sha1=8c83...(hash)
```

9.9 Sauver des données sur le TPM

```
tpm2_evictcontrol -c passwd.ctx 0x81010000 -C
    o  #sauver
tpm2_unseal -c 0x81010000 > passwd  #récuperer
```

9.10 Sauver des données et protéger avec PCR policy

```
sha1sum passwd #calcul hash
tpm2_pcrreset 0 #flush PCR0
tpm2_pcrextend 0:sha1=8c839... #sauve hash
tpm2_createprimary -C o -G rsa2048 -c primary
tpm2_startauthsession -S session
tpm2_policypcr -S session -l sha1:0 -L
    pcr0_policy #créer politique
tpm2_flushcontext session

tpm2_create -C primary -g sha256 \
-u passwd_pcr0.pub -r passwd_pcr0.priv \
-i passwd -L pcr0_policy

tpm2_evictcontrol -c passwd_pcr0 0x81010000 -C
     o
tpm2_flushcontext session

shred passwd
rm -f passwd

tpm2_startauthsession --policy-session -S
    session
tpm2_policypcr -S session -l sha1:0
tpm2_unseal -p session:session -c 0x81010000 >
     passwd
```

10 Autres

10.1 Commandes

Commande	Description
`netcat` (`nc`)	Couteau suisse du TCP/IP. Permet de scanner des ports
`nmap`	Analyse des ports ouverts
`ssh`	Connexion à un système par interpréteur de commande
`dd`	copie byte à byte entre des streams. (`sudo dd if=/dev/zero/ of=/dev/null bs=512 count=100 seek=16`)
`parted`	création / modification de partiations (`sudo parted /dev/sdb mklabel msdos`
`mkfs.ext4`	commandes ext4 pour créer / modifier une partition

10.2 Définitions

Nom	Description
Honeypot	"Pot de miel" ou leurre pour faire croire qu'un système non-sécurisé est présent (à tord)
Toolchain	Codes sources et outils nécessaires pour générer une image éxécutable (sur un système embarqué)
Kernel	Coeur Linux (avec le format u-boot)
Rootfs	Root Filesystem (avec tous les dossiers et outils utilisés par Linux)
Usrfs	User Filesystem (applications spécifiques à l'utilisation du système embarqué)
Buildroot	Ensemble de makefiles et patchs qui simplifient et automatisent la création d'un Linux pour système embarqué
uClibc	Librairie c de base similaire à glibc mais plus compacte (pour systèmes MMU-less)
Busybox	Binaire unique qui contient toutes les commandes de base (ls, cat, mv)