

## oD3 - Pilotes Linux

### *Écriture de pilotes Linux*

#### Objectifs

- Maîtriser les outils de développement et de débogage du Kernel
- Découverte de la programmation multi-cœur dans le Kernel Linux
- Programmation des E/S, des interruptions, des timers et du DMA
- Installer et intégrer des pilotes dans le Kernel Linux
- Gérer les E/S synchrones et asynchrones et les ioctl
- Ecrire un pilote en mode caractère
- Comprendre les spécificités des versions 2.6 et 3.x
- Maîtriser les techniques de débogage du Kernel avec les sondes JTAG de Lauterbach

Les travaux pratiques sont menés sur des tableaux cibles, qui peuvent être :

Cartes "STM32MP15-DISCO" à base de deux Cortex/A7 de STMicroelectronics.

Cartes "SabreLite" de NXP basées sur le Quad Cortex/A9.

Cartes "imx8q-evk" de NXP basées sur le Quad Cortex/A53.

Nous utilisons un kernel linux récent (4.x), tel que supporté par le fournisseur de la puce.

#### Public visé

- Ce cours s'adresse aux ingénieurs qui installent Linux sur une plate-forme personnalisée et doivent créer des pilotes de périphériques spécifiques

#### Pré-requis

- Bonnes connaissances en programmation C
- De préférence, connaissance de la programmation utilisateur Linux (voir nos cours [D0 - Programmation en mode utilisateur Linux](#) ou cours [oD0 - Programmation en mode utilisateur Linux](#))

#### Environnement du cours

- Cours théorique
  - Support de cours au format PDF (en anglais)
  - Cours dispensé via le système de visioconférence Teams
  - Le formateur répond aux questions des stagiaires en direct pendant la formation et fournit une assistance technique et pédagogique
- Activités pratiques
  - Les activités pratiques représentent de 40% à 50% de la durée du cours
  - Elles permettent de valider ou compléter les connaissances acquises pendant le cours théorique.
  - Un PC Linux en ligne par stagiaire pour les activités pratiques, connecté à une cible ARM
  - Exemples de code, exercices et solutions
  - Le formateur a accès aux PC en ligne des stagiaires pour l'assistance technique et pédagogique
  - Certains travaux pratiques peuvent être réalisés entre les sessions et sont vérifiés par le formateur lors de la session suivante
- Une machine virtuelle préconfigurée téléchargeable pour les activités pratiques après le cours
- Au début de chaque demi-journée une période est réservée à une interaction avec les stagiaires pour s'assurer que le cours répond à leurs attentes et l'adapter si nécessaire

#### Audience visée

- Tout ingénieur ou technicien en systèmes embarqués possédant les prérequis ci-dessus

## Durée

- Totale : 24 heures
- 4 sessions de 6 heures chacune (hors temps de pause)
- De 40% à 50% du temps de formation est consacré aux activités pratiques
- Certains laboratoires peuvent être réalisés entre les sessions et sont vérifiés par le formateur lors de la session suivante

# Course Outline

## Première session

### Linux kernel programming

- Development in the Linux kernel
- Memory allocation
- Linked lists

**Exercise :** Writing the "hello world" kernel module

**Exercise :** Adding a driver to kernel sources and configuration menu

**Exercise :** Using module parameters

**Exercise :** Writing interdependent modules using memory allocations, reference counting and linked lists

### Linux kernel debugging

- The /proc and debugfs filesystems
- Traces
- The kernel Dynamic Debugging interface
- The Kernel Address Sanitizer
- Debugging memory problems with kmemleak
- Using the Undefined Behavior Sanitizer
- Code coverage using gcov
- Debugging with kgdb
- Debugging with a JTAG probe

**Exercise :** Display dynamic traces on the running kernel

**Exercise :** Debug a module initialization using kgdb

### Kernel multi-tasking

- Task handling
- Concurrent programming
- Timers
- Kernel threads

**Exercise :** Fixing race conditions in the previous lab with mutexes

## Deuxième session

### Introduction to Linux drivers

- Accessing the device driver from user space
- Driver registration

**Exercise :** Step by step implementation of a character driver:

- driver registration (major/minor reservation) and device special file creation (/dev)

## Driver I/O functions

- Kernel structures used by drivers
- Opening and closing devices
- Data transfers
- Controlling the device
- Mapping device memory

**Exercise :** Step by step implementation of a character driver:

- Implementing open and release
- Implementing read and write
- Implementing ioctl
- Implementing mmap

## Troisième session

### Synchronous and asynchronous requests

- Task synchronization
- Synchronous request
- Asynchronous requests

**Exercise :** implementation of a pipe-like driver:

- implementing waiting and waking
- adding non-blocking, asynchronous and multiplexed operations (O\_NONBLOCK, SIGIO, poll/select)

### Input/Output and interrupts

- Memory-mapped registers
- Interrupts
- Gpios
- User-level access through /sys or the GPIO character driver

**Exercise :** Polling gpio driver with raw register access

**Exercise :** Interrupt-based gpio driver with raw register access

**Exercise :** gpio driver using the gpiolib

### Busses

- Plug-and-Play management
- Static devices declaration
  - in the BSP code
  - in the device tree
- Platform bus
- PCI
- SPI
- Power management
  - System sleep
  - Implementing power management in drivers
  - Remote wakeup

**Exercise :** Implementing a platform driver and customizing the device tree to associate it to its device (a serial port)

**Exercise :** Implementing power management in the previous driver

**Exercise :** Implementing remote wakeup in the previous driver

## Quatrième session

### Linux Driver Model

- Linux Driver Model Architecture

- Overview
- Classes
- Busses
- Hot plug management
  - Plugging devices
  - Removing devices
- Writing udev rules

**Exercise :** Writing a custom class driver

**Exercise :** Writing a misc driver

## DMA

- Direct Memory Access
  - DMA scenarios
  - Buffer access
- DMA programming
  - Bus master DMA
  - Slave DMA
- Memory barriers

**Exercise :** Implementing slave DMA in a serial port driver

## Annexes

### USB Drivers

- The USB bus
- USB devices
- User-space USB interface
- USB descriptors
- USB requests
- USB device drivers

**Exercise :** Writing a USB host driver

### Network drivers

- structures
  - network interface representation (struct net\_device)
  - network packet (struct sk\_buff)
- scatter/gather
- interface
  - receiving packets
  - sending packets
  - lost packets management
  - network interface statistics
- New network API (NAPI)
  - "interrupt mitigation" (suppression of unneeded IRQs)
  - "packet throttling" (suppression of packets in the driver itself when system is overwhelmed)

### Memory management

- Virtual Memory
- Memory Allocation
  - Free page management
  - Normal memory allocation
  - Virtual memory allocation
  - Huge allocations