Développement de systèmes Linux embarqué

Formation sur site, 4 jours

Dernière mise à jour: 12 May 2022

Titre	**Développement de systèmes Linux embarqué**
Objectifs opérationnels	• Être capable d'appréhender l'architecture générale d'un système Linux embarqué. • Être capable de sélectionner, construire, mettre en oeuvre et utiliser une chaîne de compilation croisée. • Être capable de comprendre la séquence d'un démarrage d'un système Linux embarqué et de mettre en oeuvre et d'utiliser le chargeur de démarrage U-Boot. • Être capable de sélectionner une version du noyau Linux, de configurer, de compiler et d'installer le noyau Linux sur un système embarqué. • Être capable de créer à partir de zéro un système de fichiers racine Linux, en comprenant les différents éléments qui le composent: répertoires, applications, bibliothèques, fichiers de configuration. • Être capable de choisir et de mettre en oeuvre les principaux systèmes de fichiers Linux pour périphérique de stockage en mode bloc et flash, et de connaître leurs principales caractéristiques. • Être capable de sélectionner, de cross-compiler et d'intégrer des composants logiciels open-source (bibliothèques, applications) dans un système Linux embarqué, et de traiter la mise en conformité avec les licences open-source. • Être capable de mettre en oeuvre un système de build Linux embarqué, pour construire un système complet pour une plateforme embarquée. • Être capable de développer et débugger des applications sur un système Linux embarqué.
Durée	**Quatre** jours - 32 h (8 h par jour)
Méthodes pédagogiques	• Présentations animées par le formateur: 50% de la durée de formation • Travaux pratiques réalisés par les participants: 50% de la durée de formation • Version électroniques de supports de présentation, des instructions et des données de travaux pratiques. Les supports sont librement disponibles sur bootlin.com/doc/training/embedded-linux-4d.
Formateur	Un des ingénieurs mentionnés sur : `https://bootlin.com/training/trainers/`
Langue	Présentations : Français Supports : Anglais

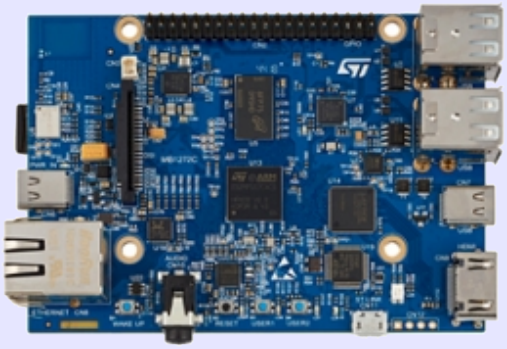
Public ciblé	Ingénieurs développant des systèmes embarqués reposant sur Linux et des composants open-source.
Pré-requis	• **Connaissance et pratique des commandes UNIX ou GNU/Linux**: les participants doivent être à l'aise avec l'utilisation de la ligne de commande Linux. Les participants manquant d'expérience sur ce sujet doivent se former par eux-mêmes, par exemple en utilisant nos supports de formation disponible à l'adresse bootlin.com/blog/command-line/. • **Niveau minimal requis en anglais: B1**, d'après le *Common European Framework of References for Languages*, pour nos sessions animées en anglais. Voir bootlin.com/pub/training/cefr-grid.pdf pour une auto-évaluation.
Variante	Version complète de la formation au développement de systèmes Linux embarqué, (**durée de 5 jours**) avec 2 demi-journées supplémentaires : • Gestion de stockage de type flash et systèmes de fichiers spécialisés • Implémentation de contraintes temps-réel avec Linux `https://bootlin.com/doc/training/embedded-linux/embedded-linux-agenda-fr.pdf`
Équipement nécessaire	**Pour les sessions sur site uniquement** Le matériel est fourni par Bootlin durant les sessions inter-entreprises • Projecteur vidéo • Un ordinateur sur chaque bureau (pour une ou deux personnes), avec au moins 8 Go de RAM et Ubuntu Linux installé dans une **partition dédiée d'au moins 30 Go. L'utilisation de Linux dans une machine virtuelle n'est pas supportée**, en raison de problèmes avec la connexion au matériel. • Nous avons besoin d'Ubuntu Desktop 20.04 (Xubuntu et autres variantes fonctionnent également). Nous ne supportons pas d'autres distributions, car nous ne pouvons tester toutes les versions des paquets. • **Connexion à Internet** (directe ou par le proxy de l'entreprise). • **Les ordinateurs contenant des données importantes doivent être sauvegardés** avant d'être utilisés dans nos sessions. Certains participants ont déjà commis des erreurs lors de travaux pratiques avec pour conséquence des pertes de données.
Modalités d'évaluation	Seuls les participants qui auront assisté à l'intégralité des journées de formation, et qui auront obtenu plus de 50% de réponses correctes à l'évaluation finale recevront une attestation individuelle de formation de la part de Bootlin.

Handicap	Les participants en situation de handicap qui ont des besoins spécifiques sont invités à nous contacter à l'adresse *training@bootlin.com* afin de discuter des adaptations nécessaires à la formation.

Matériel

La plateforme matérielle utilisée pendant les travaux pratiques de cette formation est la carte *STM32MP157D-DK1 Discovery de STMicroelectronics*, dont voici les caractéristiques :

- Processeur STM32MP157D avec deux coeurs ARM Cortex-A7
- Alimentation par USB-C powered
- 512 Mo de RAM DDR3L
- Port gigabit Ethernet
- 4 ports USB hôte 2.0
- 1 port USB-C OTG
- 1 connecteur micro SD
- Debugger ST-LINK/V2-1 intégré à la carte
- Broches compatibles Arduino Uno v3
- Codec audio
- Divers: boutons, LEDs



1er jour - Matin

Cours – Introduction à Linux embarqué

- Introduction au Logiciel Libre
- Atouts du Logiciel Libre pour les systèmes embarqués
- Exemples de systèmes embarqués fonctionnant sous Linux
- Besoins en CPU, RAM et stockage
- Choix d'une plateforme matérielle
- Architecture du système: composants principaux
- Différentes tâches pour développer un système embarqué

Cours - Environnement de développement

- Système d'exploitation et outils sur la station de travail pour le développement de systèmes Linux embarqué.

Cours - Chaîne de compilation croisée et bibliothèque standard C

- Les composants d'une chaîne de compilation croisée.
- Choisir une bibliothèque standard C.
- Le contenu de la bibliothèque standard C.
- Les chaînes de compilation croisée prêtes à l'emploi.
- La construction automatisée d'une chaîne de compilation croisée.

1er Jour - Après-midi

TP – Chaîne de compilation croisée

- Configuration de Crosstool-NG
- Exécution pour construire une chaîne de compilation croisée personnalisée reposant sur la uClibc.

Cours – Chargeurs de démarrage

- Chargeurs de démarrage existants
- Fonctionnalités des chargeurs de démarrage
- Installation d'un chargeur de démarrage
- Focus sur U-Boot

TP - U-Boot

En utilisant la carte STM32MP157D-DK1

- Mise en place de la communication série avec la carte.
- Configuration, compilation et installation du chargeur de démarrage de premier niveau et d'U-Boot sur la carte Discovery.
- Familiarisation avec l'environnement et les commandes d'U-Boot.
- Mise en place de la communication TFTP avec la carte. Utilisation des commandes TFTP d'U-Boot.

Cours – Noyau Linux

- Rôle et architecture générale du noyau Linux.
- Fonctionnalités disponibles dans le noyau Linux, en insistant sur les fonctionnalités utiles dans les systèmes embarqués.
- L'interface entre le noyau et les applications.
- Récupérer les sources.
- Processus de publication du noyau Linux. Versions "Long Term Support".
- Utilisation de la commande patch.

2ème jour - Matin

TP - Sources du noyau	Cours – Configuration et compilation du noyau Linux
• Téléchargement des sources • Application de patches	• Configuration du noyau. • Utilisation de configurations prêtes à l'emploi pour des cartes embarquées. • Compilation du noyau. • Fichiers générés à l'issue de la compilation. • Utilisation des modules noyau.

TP - Compilation croisée du noyau et démarrage sur la carte

En utilisant la carte STM32MP157D-DK1

- Configuration du noyau Linux et compilation croisée pour la carte ARM.
- Mise en place d'un serveur TFTP sur la station de développement.
- Téléchargement du noyau en utilisant le client TFTP d'U-Boot.
- Démarrage du noyau depuis la RAM.
- Copie du noyau vers la flash et démarrage depuis la flash.
- Stockage des paramètres de démarrage en flash et automatisation du démarrage du noyau.

2ème jour - Après-midi

Cours – Système de fichier racine

- Les systèmes de fichiers dans Linux.
- Rôle et organisation du système de fichiers racine.
- Localisation de ce système de fichiers: sur espace de stockage, en mémoire, sur le réseau.
- Les fichiers device, les systèmes de fichiers virtuels.
- Contenu type d'un système de fichiers.

Cours - BusyBox

- Présentation de BusyBox. Intérêt pour les systèmes embarqués.
- CConfiguration, compilation et installation.

TP – Construction d'un minuscule système Linux embarqué avec BusyBox

En utilisant la carte STM32MP157D-DK1

- Construction à partir de zéro d'un système de fichiers racine contenant un système Linux embarqué
- Mise en place d'un noyau permettant de démarrer le système depuis un répertoire mis à disposition par la station de développement au travers de NFS.
- Passage de paramètres au noyau pour le démarrage avec NFS.
- Création complète du système de fichiers à partir de zéro : installation de BusyBox, création des fichiers spéciaux pour les périphériques.
- Initialisation du système en utilisant le programme init de BusyBox.
- Utilisation du serveur HTTP de BusyBox.
- Contrôle de la cible à partir d'un navigateur Web sur la station de développement.
- Mise en place des bibliothèques partagées sur la cible et développement d'une application d'exemple.

3ème jour - Matin

Cours - Système de fichiers bloc	TP - Système de fichiers bloc
• Systèmes de fichiers pour périphériques bloc. • Utilité des systèmes de fichiers journalisés. • Systèmes de fichiers en lecture seule. • Systèmes de fichiers en RAM. • Création de chacun de ces systèmes de fichiers. • Suggestions pour les systèmes embarqués.	*En utilisant la carte STM32MP157D-DK1* • Créer des partitions sur le stockage bloc. • Démarrage d'un système avec un assemblage de plusieurs systèmes de fichiers : SquashFS pour les applications, ext3 pour la configuration et les données utilisateur et tmpfs pour les fichiers temporaires.

3ème jour - Après-midi

Cours – Réutilisation de composants open-source existants pour le système embarqué

- Motivations pour la réutilisation de composants existants.
- Trouver et choisir des composants libres et open-source existants.
- Les licences de Logiciels Libres et leurs conditions.
- Aperçu de composants typiquement utilisés dans les systèmes Linux embarqués : bibliothèques et systèmes graphiques (framebuffer, GTK, Qt, etc.), utilitaires système, bibliothèques et utilitaires réseau, bibliothèques multimédia, etc.
- Construction du système et intégration des composants.

Cours – Compilation croisée de bibliothèques et d'applications	TP – Compilation croisée de bibliothèques et d'applications.
• Configuration, compilation croisée et installation de bibliothèques et d'applications pour un système embarqué • Détails sur le système de compilation utilisé dans la plupart des composants open-source. • Aperçu des principaux problèmes rencontrés lors de la réutilisation des composants.	*Si suffisamment de temps disponible* • Construction d'un système avec les bibliothèques ALSA et une application de lecture audio. • Compilation et installation manuelle de plusieurs composants open-source. • Apprentissage des principales techniques et des problèmes principaux.

4ème jour - Matin

Cours - Outils de construction de systèmes	TP - Construction d'un système avec Buildroot
• Outils de la communauté pour la construction automatisée de systèmes. • Exemple de Buildroot.	*En utilisant la carte STM32MP157D-DK1* • Utilisation de Buildroot pour construire de façon automatisée un système similaire à celui du TP précédent. • Voir à quel point cela est plus simple • Optionnel: rajout d'un paquet dans Buildroot

4ème jour - Après-midi

Cours - Développement et déboguage d'application

- Langages de programmations et bibliothèques disponibles.
- Aperçu de la bibliothèque C pour le développement d'applications.
- Systèmes de construction pour votre application, comment utiliser des bibliothèques existantes dans votre application.
- Débogueurs : déboguage d'applications à distance avec gdb et gdbserver, analyse post-mortem d'une application.
- Outils pour tracer et profiler des applications.

TP – Développement et déboguage d'application

En utilisant la carte STM32MP157D-DK1

- Développement et compilation d'une application basée sur la bibliothèque ncurses.
- Utilisation de strace, ltrace et gdbserver pour déboguer une application de mauvaise qualité sur le système embarqué
- Exploitation d'un *core dump* pour identifier à quel endroit une application s'est "plantée".