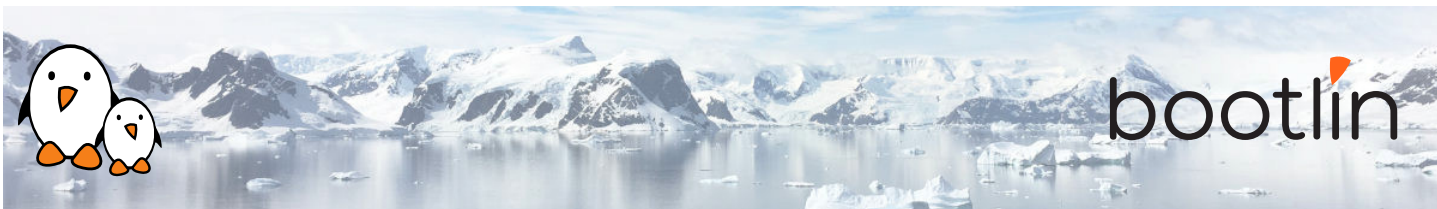


Formation optimisation du temps de démarrage de Linux embarqué

Séminaire en ligne, 4 sessions de 4 hours

Dernière mise à jour : 25 février 2026

Titre	Formation optimisation du temps de démarrage de Linux embarqué
Objectifs opérationnels	<ul style="list-style-type: none">• Être capable d'utiliser les outils et techniques pour mesurer le temps de démarrage d'un système embarqué.• Être capable de réduire le temps de démarrage au niveau de l'initialisation de l'espace utilisateur Linux.• Être capable de réduire le temps de démarrage au niveau de l'initialisation du noyau Linux.• Être capable de réduire le temps de démarrage au niveau de l'initialisation du chargeur de démarrage.• Être capable de mettre en oeuvre d'autres techniques avancées et alternatives d'optimisation du temps de démarrage.
Durée	Quatre demi-journées - 16 h (4 h par demi-journée)
Méthodes pédagogiques	<ul style="list-style-type: none">• Présentations animées par le formateur, par visioconférence. Les participants peuvent poser des questions à tout instant.• Démonstrations pratiques réalisées par le formateur, basés sur les travaux pratiques de la formation, par vidéo-conférence. Les participants peuvent poser des questions à tout instant. Optionnellement, les participants qui ont accès aux accessoires matériels de la formation peuvent reproduire par eux-même les travaux pratiques.• Messagerie instantanée pour questions entre les sessions (réponse sous 24h, hors week-end et jours fériés)• Version électronique des supports de présentation, des instructions et des données de travaux pratiques. Les supports sont librement disponibles sur https://bootlin.com/doc/training/boot-time.
Formateur	Un des ingénieurs mentionnés sur : https://bootlin.com/training/trainers/
Langue	Présentations : Français Supports : Anglais



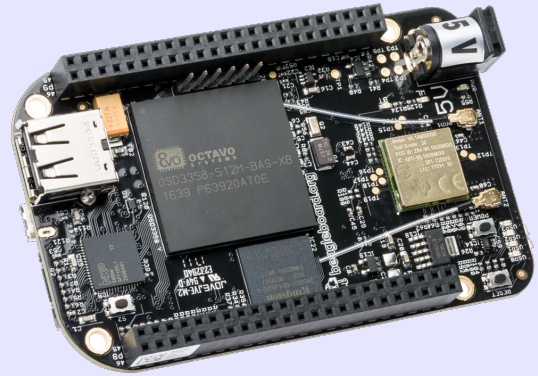
Public visé	Sociétés et ingénieurs développeurs de systèmes Linux embarqués. Personnes offrant de l'assistance à de tels développeurs.
Pré-requis	<ul style="list-style-type: none">• Connaissance et pratique des commandes UNIX ou GNU/Linux : les participants doivent être à l'aise avec l'utilisation de 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/.• Expérience minimale en développement Linux embarqué : les participants doivent avoir une compréhension minimale de l'architecture d'un système Linux embarqué : rôle du noyau Linux par rapport à l'espace utilisateur, développement d'applications espace utilisateur en C. Suivre la formation <i>Linux embarqué</i> de Bootlin, disponible sur bootlin.com/training/embedded-linux/, permet de remplir ce pré-requis.• Niveau minimal requis en anglais : B1, d'après le <i>Common European Framework of References for Languages</i>, pour nos sessions animées en anglais. Voir bootlin.com/pub/training/cefr-grid.pdf pour une auto-évaluation.
Équipement nécessaire	<ul style="list-style-type: none">• Ordinateur avec le système d'exploitation de votre choix, équipé du navigateur Google Chrome ou Chromium pour la conférence vidéo.• Une webcam et un micro (de préférence un casque avec micro)• Une connexion à Internet à haut débit
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 démonstrations pratiques de cette formation est la carte **BeagleBone Black**, dont voici les caractéristiques :

- Un processeur ARM AM335x de Texas Instruments (à base de Cortex-A8), avec accélération 3D, etc.
- 512 Mo de RAM
- 2 Go de stockage eMMC embarqué sur la carte (4 Go avec la révision C)
- USB hôte et device
- Sortie HDMI
- Connecteurs à 2 x 46 broches, pour accéder aux UARTs, aux bus SPI, aux bus I2C, et à d'autres entrées/sorties du processeur.



Démonstrations

Les démos de cette formation utiliseront les périphériques matériels suivants :

- Une webcam USB
- Une carte d'extension d'écran tactile LCD connectée à la carte BeagleBone Black, pour afficher la vidéo capturée par la webcam.



1^{ère} demi-journée

Cours - Méthodes

- Comment mesurer le temps de démarrage
- Principales approches

Démo - Construction du système

- Téléchargement du code source du chargeur de démarrage, du noyau et de Buildroot
- Prise en main de la carte, mise en place de la communication série
- Configuration de Buildroot et génération du système
- Configuration et compilation du chargeur de démarrage U-Boot. Préparation d'une carte SD pour démarrer le système.
- Configuration et compilation du noyau. Démarrage du système.

Cours - Mesure du temps

- Techniques génériques par logiciel
- Techniques matérielles
- Solutions spécifiques à chaque étage du démarrage

Démo - Mesure du temps - Solution logicielle

- Modification du système pour mesurer le temps au niveau des différentes étapes.
- Chronométrer les messages sur la console série
- Chronométrer le démarrage de l'application

2^{ème} demi-journée

Cours - Optimisations des chaînes de compilation

- Introduction aux chaînes de compilation
- Bibliothèques C
- Informations de taille
- Mesure de la performance d'un exécutable avec la commande `time`



Démo - Optimisations des chaînes de compilation

- Mesure du temps d'exécution de l'application
- Passage à une chaîne Thumb2
- Génération d'un SDK Buildroot pour recompiler plus vite

Cours - Optimisation de l'application

- Utilisation de `strace` et `ltrace`
- Autres techniques de profiling

Démo - Optimisation de l'application

- Rechercher d'options de configuration inutiles dans des applications
- Modification de ces options à travers Buildroot
- Expériences avec `strace` pour suivre l'exécution d'un programme

Cours - Optimisation du démarrage du système

- Utilisation de BusyBox `bootchartd`
- Optimisation des scripts d'init
- Possibilité de démarrer directement votre application

Démo - Optimisation du démarrage du système

- Utilisation de Buildroot pour supprimer scripts et commandes non nécessaires
- Une méthode pour identifier tous les fichiers inutilisés
- Simplification de BusyBox
- Démarrage de l'application en tant que programme init.



3^{ème} demi-journée

Cours - Optimisations de systèmes de fichiers

- Systèmes de fichiers disponibles, aspects de performance et de temps de démarrage
- Comment accélérer UBIFS
- Paramètres pour réduire le temps de démarrage
- Démarrer depuis un initramfs
- Utilisation d'exécutables statiques : contraintes de licence

Démo - Optimisations de systèmes de fichiers

- Essayer et mesurer deux systèmes de fichiers bloc : ext4 et SquashFS.
- Essai et benchmark de la solution initramfs. Contraintes en rapport avec cette solution.

Cours - Optimisations du noyau

- Utilisation d'*Initcall debug* to générer un *boot graph*
- Options de compression et liées à la taille
- Réduction ou suppression de la sortie console
- Plusieurs réglages pour réduire le temps de démarrage

Démo - Optimisations du noyau

- Génération et analyse d'un *boot graph* pour le noyau
- Identifier et éliminer les fonctionnalités du noyau non nécessaires
- Trouver la meilleure option de compression pour votre système

4^{ème} demi-journée

Démo - Optimisations du noyau

- Poursuite de la démo



Cours - Optimisations du chargeur de démarrage

- Conseils génériques pour réduire la taille et le temps de démarrage d'U-Boot.
- Optimisation des scripts d'U-Boot et du chargement du noyau
- Sauter le chargeur de démarrage - Comment modifier U-Boot pour activer son *Falcon mode*

Cours - Le *Falcon mode* d'U-Boot

- Principes et objectifs
- Prétraitement effectué par U-Boot pour préparer le démarrage de Linux
- Utilisation de la commande `spl export` pour faire ce traitement à l'avance.
- Modification du code source d'U-Boot et configuration pour démarrer directement Linux et sauter le deuxième étage d'U-Boot.
- Exemples and instructions de mise en oeuvre sur MMC et flash NAND
- Comment débogger le *Falcon mode*
- Comment revenir à U-Boot
- Limitations

Démo - Optimisations du chargeur de démarrage

- Utilisation des techniques ci-dessus pour rendre le chargeur de démarrage le plus rapide possible
- Passer à un stockage plus rapide
- Sauter le chargeur de démarrage avec le *Falcon mode* d'U-Boot

Conclusion - Résultats obtenus

- Résumé des résultats obtenus
- Questions / réponses, partage d'expérience avec le formateur