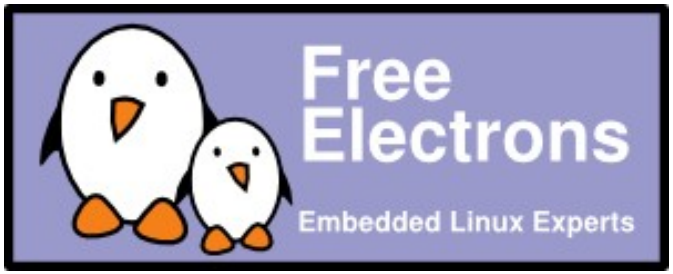
Linux et les Logiciels Libres dans le domaine de l'embarqué

Thomas Petazzoni
Free Electrons
http://free-electrons.com/



Intervenant

- Thomas Petazzoni
- Ingénieur Linux embarqué chez Free Electrons
  - Spécialisé Linux embarqué : services de développement et formation
- Impliqué dans la communauté
  - Développeur Buildroot
  - Fondateur et membre CA de Toulibre
  - Membre CA de l'April
  - Créateur et animateur de l'Agenda du Libre
  - Co-auteur de MapOSMatic.org

Embarqué ?

- Recouvre des systèmes de types très différents
- Frontière floue avec les systèmes « classiques »
- Produits de grande consommation
  - Routeurs personnels, lecteurs de DVD, appareils photos numériques, GPS, camescopes, téléphones, micro-onde, four
- Produits industriels
  - Commande de robot, alarmes, systèmes de surveillance, contrôle de machines, voiture, avion, satellite

Linux embarqué

- Le monde du Logiciel Libre offre toute une palette d'outils pour le développement de systèmes embarqués
- Émergence depuis ~10 ans dans l'embarqué
- Linux embarqué = Utilisation du noyau Linux et de composants Logiciels Libres au sens large pour faire fonctionner un système embarqué
- Convient pour les systèmes embarqués «complexes» qui ont besoin d'un OS
- Nombreux avantages liés à l'aspect libre

Linux Embarqué

- Parts de marchés actuelles des OS embarqués
  - OS propriétaire: 39%
  - Linux embarqué gratuit: 29%
  - Linux embarqué avec support commercial: 11%
  - OS maison: 7%
  - Pas d'OS: 11%
- Pour les projets futurs
  - Linux embarqué gratuit: 71%
  - Linux embarqué avec support commercial: 16%
  - OS propriétaire: 12%
  - OS maison: 1%
- Source: Venture Development Corp, octobre 2007

Avantages

- **Réutilisation de composants existants pour le système de base, permet de se focaliser sur sa valeur ajoutée**
  - On ne réinvente pas une pile réseau, une pile USB, des bibliothèques de base à chaque fois
  - Plateforme « Linux » normale, qui permet aussi de réutiliser les compétences
- Composants de bonne qualité
  - Mais il faut bien les choisir : solidité de la communauté, qualité du composant, etc.
- **Contrôle complet sur les composants, modifications sans contraintes**
  - Un aspect très important dans le domaine de l'embarqué, pour pouvoir intégrer autant que nécessaire, et corriger des problèmes en dépendant le moins possible de fournisseurs extérieurs

Avantages

- **Grande modularité et configurabilité des composants**
  - Permet de faire un système entièrement sur mesure et répondre à des besoins et contraintes variés
- Support de la communauté: tutoriels, listes
  - La communauté ne va pas développer le produit à votre place. Mais en contribuant à la communauté, celle-ci vous le rendra en aide et conseil
- Faible coût, et notamment pas de royalties par unité vendue
  - Peut-être capital quand le nombre d'unités produite est très grand
  - Ne pas négliger les coûts d'ingénérie, de formation, etc.
- Potentiellement moins de problèmes juridiques
  - Quelques licences couvrent 95% des logiciels libres
- Accès plus facile aux logiciels et outils

Produits grand public

- GPS
  - Tomtom et Garmin
- Routeurs personnels
  - Linksys, Freebox, Livebox
- PDA
  - Zaurus, Nokia N8x0
- Téléviseurs, camescopes, lecteurs de DVDs
  - Sony, Phillipps
- Stockage réseau, disques durs multimédia
- Téléphone
  - Nokia N900, OpenMoko, Palm Pre
  - Android est du «faux» Linux embarqué

Embarqué ?

Domaine industriel

- Utilisation dans des domaines extrêmement variés
- Quelques exemples...

Éolien

Parc-mètre

Terminal de paiement

Déneigement

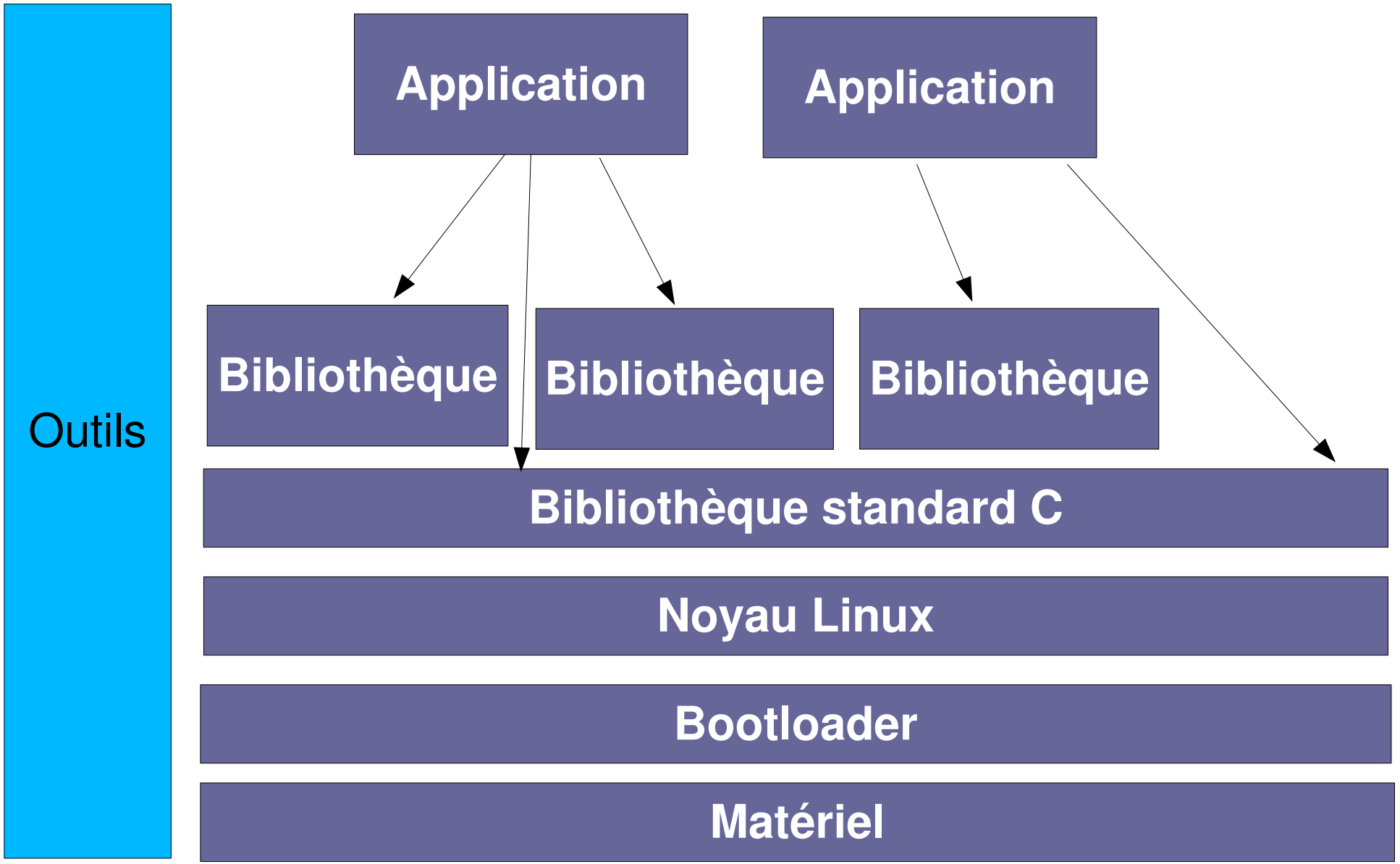
Ferroviaire

Avion

Derrière...


geode_v: Video Library Version 5.0
geode_v: Durango version 24500
geode_v: Not changing current video timings
video_capture_buffer0 40b374b0
video_capture_buffer1 40a8dd60
video_capture_buffer2 409e4610
geode_v: gamma black+cscorrection
V4L2: Registered "NSC Geode V4L2 VBI driver" as char device 81, 224
V4L2: Registered "NSC Geode V4L2 Capture driver" as char device 81, 0
geode_v: Unknown standard
V4L2: Registered "NSC Geode V4L2 Overlay driver" as char device 81, 16
installing sigma modules ...
Warning: loading /lib/modules/realmagichwi_kernelland.o will taint the kernel: non-GPL license - Proprietary. Copyright (c) 2002
Sigma Designs Inc. All rights reserved (version 103 with proc pci dolby css macrovision sm2280 osdric_memorycheck).
PCI: Setting latency timer of device 00:0f.0 to 32
installing audio ...
PCI: Setting latency timer of device 00:12.3 to 32
geodeoss: disabling PM: PM registration failed
geodeoss: version 1.2.0 time 12:37:36 Dec 8 2004
geodeoss: use_pm=0 check_interrupt=0
starting daemons...
geode rev-7 pmr-03a834c4 ncr-00030250
using /dev/ntd1 /usr/app
--- mount succeeded ---
using /dev/ntd4 /usr/app2
--- mount succeeded ---
mount: /dev/sda1 is not a valid block device
mount failed
shm_open: No such file or directory
usrconfig.c000: creating user 0 shmem
usrconfig.c0140: /usr/app/game.cfg cksum 4175077600 ok
TV
MAP

Architecture de base



Matériel pour l'embarqué

- Le matériel des systèmes embarqués est souvent différent de celui d'un système classique
  - Architecture processeur différente. Souvent ARM, MIPS ou PowerPC. x86 est aussi utilisé.
  - Stockage sur mémoire Flash, de type NOR ou NAND, de capacité souvent relativement réduite (quelques Mo à quelques centaines de Mo)
  - Capacité mémoire réduite (quelques Mo à quelques dizaines de Mo)
  - De nombreux bus d'interconnexion peu courants sur le desktop: I2C, SPI, SSP, CAN, etc.
- Cartes de développement à partir d'une centaine d'Euros
  - Souvent utilisées comme base pour le design final de la carte qui sera utilisée

Besoins minimaux

- Un processeur supporté par le compilateur gcc et le noyau Linux
  - Processeur 32 bit
  - Les processeurs sans MMU sont également supportés, au travers du projet uClinux
- Quelques mega-octets de RAM, à partir de 4 Mo, 8 Mo sont nécessaires pour pouvoir faire vraiment quelque chose.
- Quelques mega-octets de stockage, à partir de 2 Mo, 4 Mo pour faire vraiment quelque chose.
- Linux n'est donc pas fait pour les petits micro-contrôleurs qui ne possèdent que quelques dizaines ou centaines de Ko de Flash et de RAM
  - Sur le métal, pas d'OS
  - Systèmes réduits, type FreeRTOS, RTEMS, etc.

Chaîne de cross-compilation

- L'outil indispensable pour le développement embarqué sur des architectures non-x86.
- Contient des outils
  - S'exécutant sur une machine hôte (la machine du développeur, généralement x86)
  - Générant/manipulant du code pour machine cible (généralement non x86)
- « Outils binaires »
  - Binutils
  - Ld, as, nm, readelf, objdump, etc.
- Bibliothèque standard C
  - glibc, uClibc ou eglibc
- Compilateur C/C++
  - gcc
- Bibliothèques mathématiques
  - gmp, mpfr
- Débogueur
  - gdb

Bootloader

- Sur PC : LILO ou Grub
  - Le BIOS fait une bonne partie du travail et met à disposition du bootloader des routines pour le chargement de données depuis le disque
- Sur les architectures embarquées, pas de BIOS
  - Le bootloader doit tout faire, y compris l'initialisation du contrôleur mémoire
- Bootloader le plus courant: U-Boot
  - Très portable
  - Nombreux drivers
  - Nombreuses fonctionnalités (shell, scripting, etc.)

Noyau Linux

- Composant essentiel d'un système embarqué
- Les éléments de base du système: gestion des processus, de la mémoire, systèmes de fichiers, protocoles réseau, etc.
- Contient les pilotes pour la plupart des périphériques
- Le noyau distingue trois niveaux pour le support du matériel embarqué
  - L'architecture: ARM, MIPS, PowerPC
  - Le processeur: Samsung SC2442 par ex.
  - La machine: OpenMoko Freerunner

Noyau Linux

- Le noyau est le plus souvent porté sur une carte par le vendeur de celle-ci, sinon il faut s'adresser à une société spécialisée, ou mettre les mains dans le camboui.
- Un fichier de configuration est fourni pour chaque machine, il est personnalisable
- Après compilation, le noyau c'est
  - Une image binaire (le noyau lui-même), le plus souvent compressée, d'une taille de ~600 Ko à plusieurs Mo. C'est cette image qui est chargée et exécutée par le bootloader
  - Optionnellement des modules noyau
- Adaptations particulières à l'embarqué
  - Temps réel
  - Gestion de l'énergie
  - Stockage

Bibliothèque standard C

- La bibliothèque de base qui s'intercale entre d'un coté toutes les autres bibliothèques et applications et d'un autre coté le noyau
- Elle fait partie de la chaîne de cross-compilation
- Trois solutions
  - GNU Libc
  - uClibc
  - eglibc
- Avec la libc sur un système embarqué, on a déjà une API de programmation “riche” pour des applications non-graphiques
  - Threads, IPC, entrées-sorties, réseau, etc.

Busybox

- Besoin d'un ensemble d'outils de base pour la cible
- cp, ls, mv, mkdir, rm, tar, mknod, wget, grep, sed et tous les autres
- Une solution: utiliser les outils GNU classiques
  - fileutils, coreutils, tar, wget, etc.
  - Inconvénient: beaucoup d'outils, pas conçus pour l'embarqué
- Une meilleure solution: Busybox
  - Tous les outils dans un seul programme binaire
  - Des outils aux fonctionnalités réduites... et à taille réduite
  - Extrêmement configurable
  - Des liens symboliques pour les utiliser comme d'habitude
  - http://www.busybox.net
  - Utilisé dans de très nombreux de produits du marché

Bibliothèques et outils

- En théorie, toutes les bibliothèques et tous les outils libres peuvent être cross-compilés et utilisés sur une plateforme embarquée
  - Une fois le système en place, c'est juste du Linux !
  - Des milliers de composants à sélectionner et à réutiliser : bibliothèques graphiques, bibliothèques et outils réseau, composants système, bibliothèques multimédia, langages, etc.
- En pratique, la compilation croisée n'est pas toujours aisée, car pas prévue par les développeurs originaux
  - Difficulté d'intégration
- Des outils plus spécifiquement destinés aux plateformes limitées

Outils de construction

- Plusieurs approches pour la construction d'un système embarqué
  - À la main
    - Pénible, peu reproductible, difficulté de trouver les bonnes options, d'appliquer les bons patches, etc.
  - Par des outils de construction
    - Buildroot
    - OpenEmbedded
    - PTXdist
  - Par des distributions
    - Gentoo Embedded
    - Debian Embedded

Tâches

- Réalisation du Board Support Package (BSP)
  - Adaptation du chargeur de démarrage et du noyau à la plateforme matérielle. Permet ensuite de faire fonctionner n'importe quel système Linux
- Intégration du système
  - Selon l'application ciblée par le système, intégration d'un certain nombre de composants: bibliothèques, applications, etc.
- Développement de l'application
  - Un développement applicatif Linux traditionnel, en reposant sur les briques sélectionnées

Applications industrielles

- Dans de nombreuses applications industrielles, le système est « seulement » chargé de contrôler un équipement et de communiquer avec l'extérieur
- Un tel système comporte en général relativement peu de composants :
  - Noyau
  - BusyBox
  - Bibliothèque standard
  - Applications reposant directement sur la bibliothèque standard C, parfois utilisant les possibilités temps-réel du noyau
  - Parfois un serveur Web pour le contrôle à distance, ou unn autre serveur implémentant un protocole spécifique

Cadre photo numérique

- Exemple pris d'une conférence de Matt Porter, Embedded Alley à ELC 2008
- Matériel: SoC ARM avec DSP, audio, LCD 800x600, MMC/SD, NAND, boutons, haut-parleurs
- Le cadre photo doit pouvoir
  - Afficher des photos à l'écran
  - Détecter l'insertion de cartes SD et notifier les applications, de manière à ce qu'elles puissent afficher les photos présentes sur la carte
  - Interface 3D moderne avec transitions
  - Navigation avec les boutons
  - Lecture audio (MP3, tags ID3, playlist)
  - Redimensionnement et rotation des photos

Cadre photo : composants (1)

- Système de base
  - Composants présents dans l'intégralité des systèmes Linux embarqué
  - Chargeur de démarrage U-Boot
  - Noyau Linux, avec notamment les pilotes pour SD/MMC, framebuffer, son, boutons
  - Busybox
  - Système de construction: OpenEmbedded

Cadre photo : composants (2)

- Gestion des évènements pour l'insertion de carte SD
  - Udev, qui reçoit des évènements du noyau, créé des fichiers périphériques et envoie des évènements à HAL
  - HAL, qui maintient une base de données des périphériques disponibles et offre une API via D-Bus
  - D-Bus pour connecter HAL avec l'application. L'application s'inscrit aux évènements HAL via D-Bus et est notifié lorsqu'ils surviennent

Cadre photo : composants (3)

- Affiche d'images
  - libjpeg pour décoder les images
  - jpegtran pour le redimensionnement et la rotation
  - FIM (Fbi Improved) pour le *dithering*
- Support MP3
  - libmad pour la lecture
  - libid3 pour la lecture des tags ID3
  - libm3u pour le support des listes de lecture
  - Utilisation de composants fournis par le vendeur du CPU pour utiliser le DSP

Cadre photo : composants (4)

- Interface 3D
  - Vincent, une implémentation libre d'OpenGL ES
  - Clutter, une bibliothèque fournissant une API de haut-niveau pour l'implémentation d'applications 3D
- L'application elle-même
  - Gère les évènements liés à l'insertion/retrait de média
  - Utilise les bibliothèques JPEG pour décoder et effectuer le rendu des images
  - Reçoit des évènements des boutons
  - Affiche une interface 3D basée sur OpenGL/Clutter
  - Gère une configuration définie par l'utilisateur
  - Joue la musique avec les bibliothèques MP3
  - Affiche un diaporama des photos

En savoir plus

- Supports de formation de Free-Electrons, disponible sous licence libre
  - Intégration de système Linux embarqué
  - Développement de code noyau
- Livre « Building Embedded Linux Systems », O'Reilly, 2008
- Livre « Embedded Linux Primer », Prentice Hall, 2006
- Embedded Linux Wiki, http://elinux.org
- Conférences ELC et ELCE, vidéos mises à disposition par Free-Electrons
- Assez peu de littérature en français
  - Articles dans Linux Magazine
  - Livre « Linux Embarqué » par Pierre Ficheux, un peu obsolète car publié en 2002