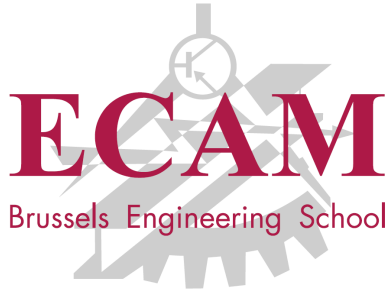


I403C Systèmes d'exploitation temps réel

Séance 1

Système d'exploitation embarqué

Sébastien Combéfis

2017–2018

Objectifs

- Développement de systèmes embarqués
  - Définition et caractéristiques des OS embarqués
  - Design et développement d'OS pour les systèmes embarqués
- Version de Linux adaptée pour les systèmes embarqués

  Caractéristiques d'un Linux embarqué
- Développement d'OS embarqué spécifique

  TinyOS pour les réseaux de senseurs sans fil

Système embarqué (1)

- Grande présence et importance des OS embarqué
  - Exigences uniques et particulières causées par l'environnement
  - Stratégie de design de tels OS embarqués très différente
- Utilisation de hardware et de software au sein d'un produit
  - Couplage fort du système embarqué avec son environnement
  - Possibilité de contraintes de temps réel (souple/forte)
  - Possibilité de plusieurs activités concurrentes/parallèles

Système embarqué (2)

- Plusieurs contraintes liées à l'environnement

  Vitesse de déplacement, précision des mesures, durée précise

- Organisation particulière d'un système embarqué
  - Interfaces de mesure et interaction avec environnement externe
  - De la simple LED qui flashe à la vision robotique temps réel
  - Addition de FPGA, ASIC ou même hardware non numérique
  - Software avec une fonction fixe et spécifique à l'application

Caractéristique OS embarqué

OS embarqué (1)

- Système embarqué simple contrôlé par software dédié

  Ensemble de programmes directement exécutés, sans autre

- Système plus complexe nécessite un OS embarqué
  - Version spéciale d'un general-purpose comme Linux embarqué
  - Développement d'un OS dédicacé comme TinyOS

- Plusieurs caractéristiques uniques aux systèmes embarqués

  Liées à espace mémoire, consommation de puissance, temps réel...

Environnement

- Système embarqué très fortement lié avec son environnement

  Grande hétérogénéité des environnements

- Plusieurs niveaux d'exigences très variés

  - Applications critiques avec beaucoup de fonctionnalités

    Médical, navette spatiale, process automation...

  - Applications critiques avec des petites fonctionnalités

    Système ABS, pace maker...

  - Pas d'aspect critique et fonctionnalités variées

    Smartphone, smartcard, four à micro-ondes...

OS embarqué (2)

- Parfois nécessité d'avoir un OS embarqué

  Même raison que ordinateur traditionnel, services pas tous utiles

- Un OS classique de bureau n'est pas adapté
  - Kernel monolithique trop riche, pas modulaire, configurable...
  - Trop d'espace mémoire, trop gourmand en temps de calcul
  - Pas conçu pour applications critiques
  - Les timings sont beaucoup trop larges

Caractéristique (1)

- Opérations à devoir réaliser sous contraintes temps réel
  - Correctness d'un calcul dépend du moment où il est réalisé
  - Contraintes temps réel dictées par E/S externe
- Opérations exécutées de manière réactive
  - Software exécuté en réponse à des évènements externes
  - Évènement pas forcément périodique, ni intervalle prédictible
  - Priorité d'exécution pour les routines et gestion pire cas

Caractéristique (2)

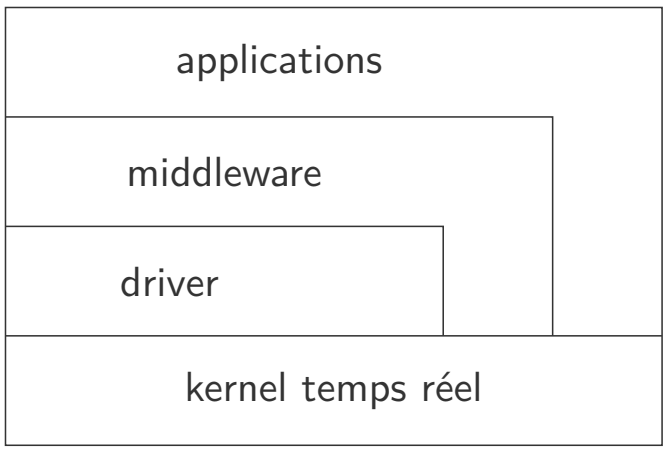
- Grande configurabilité du système embarqué
  - Pouvoir exécuter OS embarqué sur plusieurs systèmes
  - Configuration flexible pour n'avoir que le nécessaire
- Flexibilité des périphériques d'entrée/sortie
  - Pas de périphériques qui doivent être supportés par tous les OS
  - Le nombre de périphériques d'E/S est très grand
  - Ne pas intégrer drivers de périphériques lents dans le kernel

Caractéristique (3)

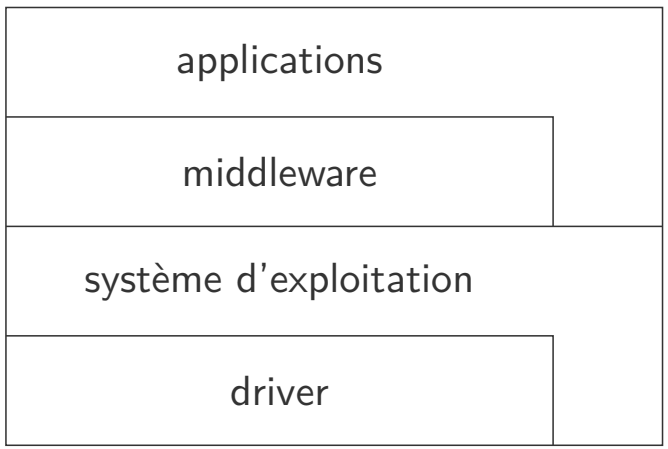
- Mécanismes de protection simplifiés
  - Système embarqué pour usage limité et fonction bien définie
  - Software pas testé rarement ajouté par après
  - Système embarqué fiable, peu de mécanismes de protection
- Utilisation directe des interruptions
  - Accès direct aux interruptions pour les processus utilisateur
  - Pas besoin de protection du système embarqué
  - Nécessité d'avoir un contrôle efficace de périphériques

Driver de périphérique

- Drivers de périphérique gérés comme des tâches
  - Amélioration de la prédictabilité en passant par scheduler
  - Pas de périphériques à supporter par toutes versions de l'OS



RTOS



OS standard

OS temps réel

- Système d'exploitation pour construire systèmes temps réel

  Combinaison possible OS embarqué et temps réel

- Trois exigences clés pour avoir un RTOS
  - Comportement lié au timing doit être prédictible

    Temps d'exécution doit être borné pour tous les services
  - L'OS temps réel doit gérer le timing et ordonnancement

    Prise en compte des deadlines et services précis pour temps
  - L'OS temps réel doit être rapide

Adaptation OS commercial

- Ajout de capacités temps réel sur un OS commercial existant

  Opérations de rationalisation, nouvelles fonctionnalités...

- Souvent à partir de Linux, mais possibilité avec Windows...
  - OS standard plus lent et moins prédictible
  - Interfaces familières et meilleure portabilité
  - Pas optimisé pour le temps réel et les applications embarquées
  - Optimisation cas moyen et ressources affectées à la demande

OS embarqué dédié (1)

- Design OS embarqué dès le départ comme eCos et TinyOS

  Conçus dès le départ pour des systèmes embarqués

- Plusieurs aspects de spécialisation des OS embarqués
  - Switch de processus et de threads léger et rapide
  - Politique ordonnancement temps réel avec dispatcher inclus
  - Petite taille
  - Rapide réponse interruptions, désactivation très brèves
  - Partitions de tailles fixes ou variables pour gérer mémoire
  - Fichiers séquentiels spéciaux pour accumuler données très vite

OS embarqué dédié (2)

- Features kernel pour gérer les contraintes de timing
  - Temps d'exécution borné pour la plupart des primitives
  - Existence d'une clock temps réel
  - Alarmes spéciales et gestion de time out
  - File d'attente spéciales pour temps réel (early deadline first...)
  - Retarder exécution d'un processus et le reprendre
- Parfois importance de la prédictabilité versus performance

  Impact important sur design, surtout ordonnancement de tâches


Linux embarqué

Linux embarqué

- Version de Linux spécifique aux systèmes embarqués
  - Customisée pour contraintes de taille et de hardware
  - Ensemble de services software adapté au système
- Optimisation au niveau hardware ou software
  - Composants hardware spécifiques comme PRU
  - Drivers particuliers ou co-kernel temps réel

Taille du kernel

- Différence par rapport au nombre de périphériques à gérer
  - Important nombre de périphériques et de configurations
  - Support de plusieurs protocoles d'échange et communication
- Périphérique et protocole limités sur système embarqué
  - Dépendance forte avec le hardware disponible
  - Kernel Linux est très configurable par rapport à l'architecture

Cross-compilation

- Compilation sur système hôte en développement classique

  Utilisation d'un compilateur qui produit le code machine

- Compilation pour une autre plateforme avec cross-compiler
  - Code compilé sur système hôte pour système cible
  - Compilateur spécifique pour les différentes cibles

Système de fichiers embarqué

- Stockage permanent sous la forme de mémoire flash

  Contrairement aux disques sur système classique

- Existence de systèmes de fichiers compacts
  - **cramfs**, **squashfs** : lecture seule, compressé et en RAM
  - **jffs2** : basé sur des logs sur flash NOR/NAND
  - **ubifs** : meilleur sur gros fichier et cache d'écriture
  - **yaffs2** : nécessite moins de RAM pour stocker informations

Force du Linux embarqué

- Premier Linux embarqués apparus vers 1999

  Multitude de versions développées par des compagnies

- Quatre avantages principaux d'utilisation de Linux embarqué
  - Indépendance par rapport aux vendeurs
  - Support varié du hardware et des périphériques
  - Minimisation des couts de développement et formation
  - Tous les avantages de l'open source

Android

- OS mobile Android basé sur un kernel Linux

  Peut être considéré comme Linux embarqué, selon la vue adoptée

- Comparaison entre Android et système embarqué
  - Un système embarqué doit avoir une fonction précise et fixe
  - Plateforme OS qui supporte plusieurs types d'applications
  - Système intégré verticalement et espace user Android


TinyOS

eCos et TinyOS

- eCos plus adaptés pour petits systèmes embarqués

  Exigence stricte concernant mémoire, temps de calcul, réponse temps réel, consommation électrique...

- Niveau de rationalisation encore plus grand pour TinyOS
  - Développé pour un réseau de senseurs sans fil
  - Le système embarqué est la plupart du temps éteint
  - TinyOS n'est pas un OS temps réel

TinyOS

- TinyOS populaire et utilisé par plus de 500 organisations

  Existence de standard open source pour TinyOS

- Inexistence d'un kernel sous TinyOS
  - OS orienté composants et pas de protection mémoire
  - Pas de processus, ni de système d'allocation de mémoire
  - Gestion d'interruptions dépend du périphérique
  - Non bloquant avec quelques primitives synchronisation

Réseau de senseurs sans fil

- Réseau de senseurs low powered et de petite taille
  - Connectés entre eux avec un réseau sans fil
  - Micro-electromechanical sensors (MEMS), transducers
- Existence d'un software compact pour gérer le senseur

  Prendre la mesure et réaliser la communication
- Architecture composée des senseurs et d'un PC hôte
  - Station de base du réseau connectée au PC hôte
  - Senseurs joue le rôle de relais de données (il faut du routage)
  - Possibilité d'auto-organisation en un réseau ad-hoc

But de TinyOS (1)

- Réseau de senseurs distribués comme application visée

  Travail par un groupe de chercheurs de l'UC Berkeley

- Identification de six buts principaux pour TinyOS
  - Permettre la forte concurrence entre plusieurs flux de données

    Flux régulier de données captées et traitées
  - Ressources limitées (mémoire, puissance calcul, énergie)

    Utilisation efficace des ressources et communication low-power
  - Adaptation aux évolutions hardware

    Portabilité la plus grande possible sur différent hardware

But de TinyOS (2)

- Identification de six buts principaux pour TinyOS
  - Supporter une très large gamme d'applications

    OS embarqué le plus modulaire possible
  - Supporter un ensemble de plateformes variées

    OS embarqué plutôt orienté general-purpose
  - Robustesse du système d'exploitation

    Réseau de senseurs sans surveillance pendant des mois ou années
- Limitation du buffering dans le réseau pour éviter latences

  Et mémoire limitée et communication sur distance courte

Composant (1)

- Système logiciel pour TinyOS est un ensemble de composants

  Petit module qui réalise une tâche ou ensemble de tâches simple

- Interactions entre composants et avec le hardware

  De manière limitée et très bien définie

- Seul module software toujours présent est l'ordonnanceur
  - Il n'y a pas de kernel et donc pas vraiment d'OS
  - Architecture software rigide et simplifiée pour gérer le réseau

Composant (2)

- Plusieurs composants open source pour TinyOS
  - Besoins de base pour le réseau de senseurs connectés
  - Single-hop networking, ad-hoc routing, power management...
- Collection de composants standardisés forme TinyOS

  La collection est l'OS avec lequel applications sont développées

Ordonnanceur

- Ordonnanceur qui opère à travers plusieurs composants

  Une seule tâche choisie car système uniprocesseur

- Algorithme par défaut est une simple FIFO
  - Peut mettre le processeur en sleep car power aware
  - Un slot par tâche dans la file
  - Possibilité pour l'utilisateur de remplacer le scheduler

- Deux origines possibles pour les tâches à exécuter
  - Placée en file comme résultat d'un évènement
  - Requête spécifique d'une tâche en cours d'exécution

Gestion des ressources

- Utilisation de trois abstractions pour gérer les ressources
  - Dédiée lorsque besoin d'accès exclusif tout le temps

    Interruptions et compteurs
  - Virtualisée pour simuler dédiée et protection par mutex

    Clock ou timer
  - Partagée à l'aide d'un composant d'arbitrage
- Contrôle total d'une ressource tant qu'elle est détenue

  Arbitrage entre des clients coopératifs

Crédits

- https://www.flickr.com/photos/marcus-hebel/8237627637
- https://www.flickr.com/photos/marcusmeissner/5543614166
- https://www.flickr.com/photos/39683118@N07/14977017211