

Etude Comparative

Noyaux Linux Embarqués

Etude réalisée par :

Alexis PASTUREL

EII2 - Mai 2010



Etude Noyaux Linux Embarqués

I. Introduction	4
II. Qu'est-ce qu'un noyau Linux embarqué ?	4
a. Le noyau	4
b. Linux et noyau Linux	5
c. La notion d'embarqué.....	5
III. Présentation de quelques noyaux Linux	5
a. RTLinux.....	5
b. eCos	6
c. RTAI	6
d. μ c Linux	6
e. RTEMS	6
f. VxWorks.....	7
g. FreeRTOS	7
h. Android	7
IV. Etude comparative	7
a. Communication et idées reçues.....	8
b. Disponibilité de nouvelles versions.....	8
b.i. Noyaux non commerciaux.....	8
b.ii. Noyaux commerciaux	9
b.iii. En résumé	9
c. Parts de marché	9
V. Conclusion	10

VI. Bibliographie et références	10
a. Général	10
b. RTLinux	10
c. eCos	11
d. RTAI	11
e. μ c Linux	11
f. RTEMS	11
g. VxWorks	11
h. FreeRTOS	11
i. Android	11
j. Données comparatives	11

I. Introduction

Le domaine des systèmes d'exploitation est aussi vaste que les possibilités qu'ils offrent. On les retrouve aujourd'hui dans tous les domaines et sur tout type de machine, du supercalculateur au microprocesseur d'un téléphone portable. Il existe un très grand nombre de systèmes d'exploitation, et tous n'ont pas la même fonction.

Nous nous intéresserons ici à un aspect interne de ces derniers, à savoir la partie "noyau". Tous n'en possèdent pas, mais la plupart en ont un. Alors que le système d'exploitation permet de faire l'interface entre les applications, le noyau possède lui, toutes ou parties des fonctionnalités sur lesquelles se base le système.

De plus, à l'heure actuelle, beaucoup d'industriels se tournent vers des solutions Linux. Nous essaierons ici de comprendre pourquoi, en plus de comparer les différents choix proposés dans ce domaine.

II. Qu'est-ce qu'un noyau Linux embarqué ?

Avant d'approfondir notre étude, il est important de bien définir les mots clés du problème. Ces quelques définitions ne serviront qu'à mieux appréhender le sujet, c'est pourquoi elles ne sont pas très détaillées.

a. Le noyau

Le noyau d'un système d'exploitation est sa partie la plus importante : il est à la base même du fonctionnement du système sur lequel il est installé, car c'est lui qui gère les différentes ressources et qui permet la communication entre les processus et les différents périphériques du système.

Il est fondé de façon à rendre totalement abstraits les périphériques par rapport aux processus, afin de ne pas être conçu pour un type restreint de matériels. Sa conception demande une attention particulière, car le noyau est le coeur du système d'exploitation : toutes les performances du système sont fonction de celles du noyau. Ces dernières doivent donc être assez élevées pour permettre un fonctionnement correct en terme de temps ou de précision des résultats, vis-à-vis de l'utilisateur.

Le noyau a comme tâches de gérer les différents processus, gérer les ressources qu'ils demandent (systèmes ou matériels). Il s'agit entre autre de l'interface entre le matériel et l'application qui souhaite l'utiliser.

Il existe plusieurs types de noyaux :

- Les noyaux monolithiques : dans ce cas, le noyau est un seul élément du système.
- Les systèmes à micro-noyaux : le noyau est décomposé en micro-noyaux, qui sont chacun chargé d'une part du travail global. La charge est répartie entre les micro-noyaux.

- Les noyaux hybrides : des micro-noyaux sont chargés de certaines tâches particulières tandis qu'un noyau global (auquel sont rattachés les micro-noyaux) se charge du reste.

b. Linux et noyau Linux

Linux est un système d'exploitation conçu par Linus Torvalds en 1991, pour les ordinateurs compatibles PC. Il est fondé sur le noyau du même nom.

Le noyau Linux est un logiciel libre, c'est-à-dire qu'il respecte au moins trois critères : la disponibilité du code source, la possibilité de le modifier et la redistribution sans royalties au concepteur original. Grâce à cela, le noyau Linux initial a pu évoluer et s'améliorer avec l'aide des développeurs du monde entier.

Ainsi, il a été possible assez rapidement de rendre le noyau Linux opérationnel sur bon nombre d'architectures matérielles : du téléphone portable au supercalculateur.

c. La notion d'embarqué

On parle de système embarqué lorsque la tâche qu'il remplit est précise. Il peut s'agir à la fois du système matériel que du système logiciel qui est embarqué.

En général, les systèmes embarqués ont des ressources, à la fois spatiales et énergétiques, assez limitées. Les tâches qu'ils remplissent ont des contraintes, souvent temporelles (en terme de temps d'exécution), et celles-ci sont couramment cruciales au fonctionnement du système global. On parle alors de "traitement ou tâche temps-réel" : le temps de traitement doit être invisible pour l'utilisateur.

De plus, ces systèmes doivent avoir une durée de vie assez longue. En ce qui concerne les systèmes matériels, ils sont souvent spécialisés et il n'est pas possible de les faire évoluer (ASIC), mais les systèmes logiciels eux, peuvent être amenés à être modifiés pour suivre l'évolution technologique.

III. Présentation de quelques noyaux Linux

Du fait de l'aspect libre des noyaux Linux embarqués, bon nombre d'industriels se sont tournés vers eux pour développer et faire évoluer leurs technologies à moindres coûts.

Huit noyaux différents ont été choisis pour y effectuer par la suite une étude comparative . Avant d'entrer dans le vif du sujet, présentons les brièvement.

a. RTLinux

RTLinux est une extension de Linux. En effet, il s'agit du noyau Linux original, sur lequel a été implémenté un noyau temps-réel. Il s'agit donc d'un noyau hybride :

les tâches temps-réel sont gérées par le noyau associé, tandis que les tâches dites "normales", ou "non critiques" sont gérées par le noyau Linux de base. C'est la partie temps-réel qui a accès au matériel et qui donne la main au noyau Linux.

Au niveau implémentation, RTLinux utilise des piles de type FIFO et un système de mémoire partagée pour collaborer avec le reste du système d'exploitation.

RTLinux est suivi et commercialisé par une entreprise, FSMLab.

b. eCos

eCos est un système temps-réel gratuit. Il a été conçu dans l'optique de laisser l'application spécifier ses contraintes temps-réel, à l'égard d'autres systèmes temps-réel qui sont contraints par le système d'exploitation.

Ce noyau est supporté par une dizaine d'architectures différentes. De plus, il existe une version commerciale, comportant un kit de développement et diverses améliorations de la version gratuite de eCos.

c. RTAI

RTAI est un noyau temps-réel totalement gratuit. Il supporte environ cinq architectures différentes. De façon similaire à RTLinux, il s'agit d'un patch au noyau Linux original, pour y ajouter des fonctions temps-réel.

RTAI dispose d'un environnement de développement annexe permettant d'importer et d'utiliser diverses études réalisées, notamment avec Matlab ou équivalent. De plus, il est possible d'observer le comportement du système temps-réel.

d. μ c Linux

μ c Linux est un noyau similaire à RTAI et RTLinux, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un système d'exploitation basé sur Linux, sur lequel de nouvelles fonctions temps-réel ont été implémentées. Ce noyau permet l'implémentation de Linux sur des architectures ne disposant pas d'unité de gestion mémoire.

Il s'agit d'un programme libre et totalement gratuit. De plus, les développeurs de ce projet travaillent sur un microprocesseur implémentant ce système d'exploitation et l'utilisant de façon optimale.

e. RTEMS

RTEMS (Real-Time Executive for Multiprocessor Systems) est un noyau temps-réel gratuit, qui cherche à respecter des contraintes temporelles très fortes.

C'est un noyau supporté par une douzaine d'architectures différentes, et qui peut être exécuté sur différents systèmes d'exploitation, dont Microsoft Windows. Cependant, la plupart des développements s'appuient sur le système Fedora.

f. VxWorks

VxWorks est un système d'exploitation commercial de chez Wind River, très déployé dans l'industrie et la recherche. Il supporte bon nombre d'architectures, notamment des architectures à plusieurs coeurs de processeurs.

Ce système est accompagné d'une interface graphique permettant une programmation et une visualisation du comportement interne plus aisées. Même s'il est basé sur Linux, il s'agit d'un système complet, et non pas d'un patch ajouté à la base du noyau Linux.

g. FreeRTOS

FreeRTOS est un noyau pour microcontrôleurs, gratuit. Il est supporté par une vingtaine d'architectures et est conçu dans l'optique d'être simple à mettre en oeuvre.

h. Android

Android est un système d'exploitation basé sur le noyau Linux, dont une partie est libre. Il a été créé par une entreprise rachetée ensuite par Google. Pour la plupart des cas, on retrouve ce noyau dans tout ce qui est téléphonie mobile.

Son développement est basé sur la communauté OpenSource, notamment par l'intermédiaire de projets sous forme de concours, et financés par des centaines de milliers de dollars.

IV. Etude comparative

Malgré ce que l'on peut penser, et cela a déjà été plus ou moins exprimé dans la partie précédente, tous les noyaux Linux embarqués ne sont pas libres et/ou gratuits. Dans la plupart des cas, une partie est libre (au minimum le noyau Linux original, qui l'est de part la licence GNU qui impose que le code source reste libre), et le reste de la solution est propriétaire.

L'objet de cette étude va être de définir les différences entre les noyaux commerciaux et les noyaux non commerciaux. Les différents points étudiés sont : la communication, le suivi des différentes distributions (temps de développements), leur utilisation en terme de part de marché, les idées reçues. Les industriels se tournent-ils plus vers les noyaux commerciaux ou les noyaux non commerciaux ? Existe-t-il un rapport fiabilité / prix ?

a. Communication et idées reçues

En terme de communication, les développeurs de noyaux Linux non commerciaux donnent beaucoup plus d'informations sur ce qu'est leur produit concrètement, ses fonctionnalités, les projets actuels de développement auxquels peuvent participer des développeurs du domaine. On peut noter la participation du projet RTEMS au programme Google Code 2010, qui vise à rémunérer de jeunes développeurs pour créer ou améliorer des fonctionnalités du projet global.

Côté projets commerciaux, les informations sont plus - et à juste titre - commerciales. Il est plus difficile de trouver des informations sur les fonctionnalités telles qu'elles sont conçues. C'est d'autant plus vrai pour Android : il est possible de trouver des informations sur les utilisations du système, ou le contenu des fonctions (le code source), mais aucune information quant à l'architecture en elle-même n'est disponible directement, comme sur les sites des autres projets présentés précédemment.

Cependant, les projets non commerciaux possèdent des sites internet - principal outil de leur communication - assez simples, qui ne suivent pas les tendances (Web 2.0 par exemple : animations dans les menus, etc ...), contrairement aux sites des projets commerciaux qui eux, sont assez soignés. C'est d'ailleurs très notable entre le site de la version gratuite de eCos, et celui de sa version professionnelle payante. Même si la différence peut sembler mineure aux yeux de certains, la différence est belle et bien présente.

Quel est l'impact de ces différences ? Il s'avère que les idées reçues ont leurs conséquences. Par le site, le projet donne une image sur son sérieux et son professionnalisme. Or, depuis le début, Linux est réputé pour n'être accessible qu'aux as du terminal et des lignes de commandes, tandis que ces noyaux se veulent être accessibles au plus grand nombre. Un industriel aura peut-être plus confiance dans une solution payante, de part l'attrait que le site peut donner.

De plus, les différents projets, quels qu'ils soient, ne vendent pas de goodies ou autres produits à leur image, pour financer leur projet.

b. Disponibilité de nouvelles versions

b.i. Noyaux non commerciaux

En se basant sur les dates de dépôts des différentes versions des noyaux, il est possible de connaître le suivi ou non du développement des différentes versions. Il faut toutefois être prudent sur l'interprétation de ces données, car la date la plus lointaine peut être apparentée au premier dépôt sur le serveur ftp en question.

C'est notamment le cas d'un des noyaux : une dizaine de versions ont été déposées le même jour, il s'agit plus que vraisemblablement du premier dépôt sur ce serveur. Néanmoins, tous les noyaux présentés ici sont assez "vieux" pour permettre une étude sur le suivi et le maintien à jour actuellement.

Malgré μ c Linux qui ne dispose pas d'une nouvelle version depuis 2004, tous maintiennent leur noyau à jour, et assez régulièrement en général : seul eCos a gardé un noyau sans mise à jour pendant sept ans (de 2003 à 2009). Les noyaux étudiés ici ont entre cinq et dix ans.

Il est donc intéressant de voir que malgré le fait que le noyau soit distribué de façon gratuite, leur développement se poursuit, et est assez soutenu. Une solution non commerciale est donc fiable en terme de maintien et de mise à jour.

b.ii. Noyaux commerciaux

En ce qui concerne les noyaux commerciaux, il est plus difficile de trouver des informations concernant la sortie des différentes versions, puisqu'il n'est pas possible de se baser sur les dates de dépôt sur les serveurs ftp des constructeurs.

Malgré tout, il est possible de voir, à l'aide des pages de news sur les sites constructeurs, que les projets sont suivis, autant dans le développement que dans la presse ou les conférences.

Cas particulier dans cette étude : Android. S'agissant d'un projet tout récent, auquel participent entre autre, les plus grandes firmes du domaine de la téléphonie mobile, de nombreuses mises à jour ont eu lieu depuis le lancement fin 2008.

b.iii. En résumé

Finalement, contrairement à ce qu'on peut parfois penser, les noyaux Linux embarqués non commerciaux suivent autant que les commerciaux, dans les mises à jour.

c. Parts de marché

On peut noter trois leaders sur le marché du noyau Linux embarqué : VxWork, les solutions Microsoft Windows, et les solutions Linux.

Le véritable leader dans l'univers Linux reste VxWorks. On retrouve le produit de WindRiver - racheté en 2009 par Intel Corporation - dans beaucoup de domaines, et notamment dans certains domaines de très haute technologie (notamment l'aérospatiale américaine). VxWorks détient environ 10% du marché mondial.

Microsoft quant à lui bénéficie de la renommée, pas toujours à son avantage, de ses systèmes d'exploitation pour PC et serveurs, encore très majoritaires dans le milieu industriel. Nous ne nous contenterons dans cette étude que du chiffre de la part de la société sur le marché mondial : 30%.

Les solutions Linux type RTLinux ou RTAI se partagent quant à elle 35% du marché mondial ! Même si aucune n'est un leader dans le domaine, il semble que les industriels ont confiance dans les solutions Linux, libres, et parfois gratuites.

Dans le domaine de la téléphonie mobile, Android est en passe de devenir le leader mondial. Système libre sur lequel se greffent toute une panoplie d'applications - payantes ou non -, à l'égard de Mac OS X.

Enfin, de nombreux autres noyaux se partagent le reste du marché, à hauteur de 1 à 2% chacun, dont eCos.

V. Conclusion

Cette courte étude a permis de soulever plusieurs points, qui n'étaient pas tous évidents. Les industriels du domaine des systèmes embarqués ont plusieurs problématiques : la fiabilité, la pérennité, le coût. Même si Linux n'a pas toujours eu une réputation de système fiable et sécurisé, il s'avère que bons nombres d'applications embarquées l'utilisent aujourd'hui.

Le prix n'est pas garant de la qualité, et c'est très notable dans les différentes études qui ont été réalisées au fil des années. C'est pourquoi, Linux qui est une solution libre et souvent proposée gratuitement, donne en plus d'une image ouverte de l'entreprise, un atout financier non négligeable.

VxWorks sort du lot, de par les outils de développements qu'ils fournissent avec leur système. Ce dernier étant un tout, il est plus facile de l'implémenter dans une architecture par rapport à d'autres solutions qui demandent plus de travail au niveau interfaçage avec le matériel.

Finalement, qu'il s'agisse d'une solution commerciale ou non, les industriels n'hésitent plus à passer le cap. Linux est devenu un acteur incontournable du marché mondial des logiciels embarqués, et ce, malgré l'aspect parfois simpliste des support de communication des solutions proposées.

VI. Bibliographie et références

a. Général

- *Linux Embarqué seconde édition*, Eyrolles, de Pierre Ficheux
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Systèmes_d%27exploitation
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Noyau_de_système_d%27exploitation
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Noyau_Linux
- <http://www.unixgarden.com/index.php/embarque/quelles-solutions-pour-linux-embarque%C2%A0>
- <http://www.linux.org/info/index.html>

b. RTLinux

- <http://www.portalinux.org/courses/rtlinux.pdf>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/RTLinux>

c. eCos

- <http://ecos.sourceware.org/about.html>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/ECos>

d. RTAI

- <https://www.rtai.org/>
- <http://fr.wikipedia.org/wiki/RTAI>

e. μ c Linux

- <http://www.uclinux.org/description/>
- <http://fr.wikipedia.org/wiki/MCLinux>

f. RTEMS

- <http://fr.wikipedia.org/wiki/RTEMS>
- <http://www.rtems.com/>
- http://wiki.rtems.org/wiki/index.php/What_is_RTEMS

g. VxWorks

- <http://fr.wikipedia.org/wiki/VxWorks>
- <http://windriver.com/products/vxworks/>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/VxWorks>

h. FreeRTOS

- <http://www.freertos.org/>

i. Android

- <http://fr.wikipedia.org/wiki/Android>
- <http://www.android.com/>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Android_\(operating_system\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Android_(operating_system))

j. Données comparatives

- <http://www.datarespons.com/templates/interrupt.aspx?id=27042>
- <http://hubpages.com/hub/Embedded-OS>
- <http://www.embedded.com/columns/showArticle.jhtml?articleID=187203732>
- http://news.cnet.com/8301-13505_3-20004567-16.html
- <http://itmanagement.earthweb.com/osrc/article.php/3831536/Embedded-Linux-Leader-Wind-River.htm>