

組込みLinuxの現状と技術課題



Japan Embedded Linux Consortium

早稲田大学 理工学部 情報学科
日本エンベデッドリナックスコンソーシアム
中島 達夫

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



1

概要



- Linuxとは? 組込みLinuxとは?
- なぜ組込みLinuxか?
- 組込みLinuxの具体例
- 技術的問題点
 - Linuxのリアルタイム拡張
 - 既存のソフトウェア資産の有効利用
 - 日本エンベデッドリナックスコンソーシアム
- 今後の課題 - 組込みLinuxの利点・欠点

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



Linuxとは?



- POSIXインタフェースを提供するオペレーティングシステム。
 - 世界中に多くのプログラマが存在する
 - 20年以上利用されつづけている安定したAPI
- 高機能なオペレーティングシステム
 - 数多くのファイルシステム, TCP/IPプロトコルスタック
 - 数多くのデバイスドライバ, 様々なミドルウェア
- オープンソースとして提供される
 - 不具合があった場合容易に変更, 拡張可能
 - 潜在的に大量のプログラマーが存在する。
- 様々な企業のサポート
 - IBM, Intel, NEC, Fujitsu, Toshiba, DELL, Oracle, RedHat.....

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組込みLinuxとは?



- なぜLinuxが組込みシステムに適しているのか?
 - RAMディスク, カーネルコンフィグレーション
 - デバイスドライバなどの動的モジュールローディング
 - Webブラウザなどの様々なオープンソースのミドルウェア
 - 優れた開発環境, ターゲットと開発マシンの共有
 - オープンソース, マルチベンダーサポートのカーネル
- 組込みに適さない部分も改良が進んでいる。
 - 商用リアルタイムサポート
 - リアルタイムスケジューラ, 優先度継承の解消, プリエンタビリティの改善, 高精度タイマ
 - MMUがないCPUのサポート, ROMヒツールのサポート
 - メモリフットプリントの小さいWebブラウザ, ウィンドウシステム

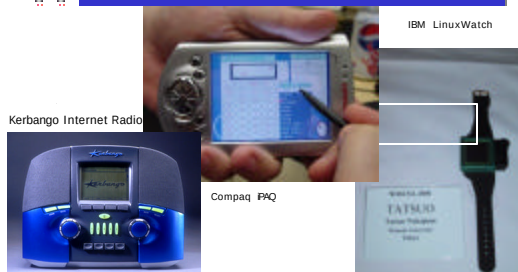
Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組込みLinuxを用いた製品 (1)



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組込みLinuxを用いた製品 (2)



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組み込みLinuxを用いた製品 (3)

Galleo Linux-based
Mobile Multimedia
Communicator

Exilien 00101/00201
Handheld PC



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組み込みLinuxを用いた製品 (4)

Ericsson Cordless Screen Phone

AdomoWing

Samsung Yopy

Aplio! PRO



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組み込みLinuxを用いた製品 (5)

AdomoPad

FrontPath ProGear

Nokia Media Terminal

Indrema Entertainment System

Screen Media FreePad



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組み込みLinuxを用いた製品 (6)

Diamond Rio

PhatNoise PhatBox

Nixdorf POS

Bluetooth
spot*

PenguinRadio



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組み込みLinuxを用いた製品 (7)



AT&T Laboratories, Cambridge
Broadband Phone System



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組み込みLinuxを用いた製品 (8)

Specification of IMT-2000 smart phone
(SK Telecom and Seoul National University)

Display and interfaces:

StrongARM SA1110 206MHz
4" TFT LCD display
Touch panel
Bluetooth interface
Camera
Voice codec for H.323
Serial and USB ports

Software related to PDA features:

Tynux(PalmPalm's embedded Linux) based on Linux Kernel 2.4.0
Trolltech's Qt/Embedded
Opera Web browser
H.323 protocol, VoIP
S/W MP3 player
Games

Pen Recognition

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



なぜ組み込みLinuxか? (1)

- インターネット
 - あらゆるサービスやデバイスが相互に接続可能
- 組み込み技術
 - いつでもどこでも情報へのアクセスが可能



2つの技術の組合せにより必要な情報が
いつでもどこでも入手可能となる

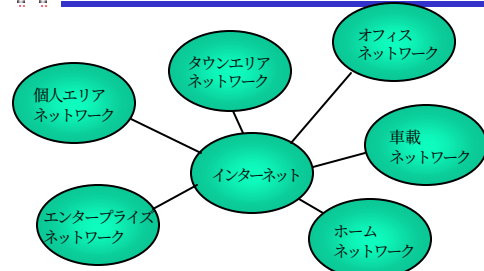
Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



なぜ組み込みLinuxか? (2)



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



なぜ組み込みLinuxか? (3)

- ユビキタスコンピューティング
 - ネットワークで接続された知的オブジェクト
- 様々なアプライアンス
 - パーソナルモバイルアプライアンス
 - ホームアプライアンス
- 新しい技術
 - コンテキストウェアネス
 - パーソナライゼーション, カスタマイゼーション
 - 新しいインタラクション技術
 - 拡張現実感
 - 環境インフラストラクチャ
 - センサーネットワーク



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル

なぜ組み込みLinuxか? (4)

- インターネットスケールなユビキタスコンピューティング
 - すべての知的オブジェクトは直接か間接的にインターネットに接続される
 - 様々なタイプのアプライアンス
 - 様々なタイプのネットワーク
 - 様々なタイプの要求
 - 異機種性が最も大切なキーポイントとなる!!
 - 再利用可能なソフトウェア構築のためにはCOTS/ドルウェアやオペレーティングシステムを採用すべき
 - COTS/ソフトウェアは様々なプラットフォーム上に移植可能であるべきである。

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



なぜ組み込みLinuxか? (5)

- ユビキタスコンピューティング環境を構築するために必要なインフラストラクチャに向けた課題
 - Universal Software Substrate
 - Universal API, Extremely Portable Component
 - COTS Software such Linux, Java, CORBA
 - Seamless Spaces
 - Context Aware Service/Device Composition
 - Universal Interaction/Communication
 - Infrastructure Services
 - Scalable, Distributed, Highly Available Application Specific Services Infrastructure
 - Service Integration, Media Fusion, Transcoding Gateway,

Japan Embedded Linux Consortium

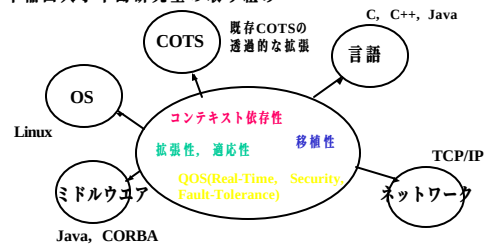
2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



なぜ組み込みLinuxか? (6)

早稲田大学中島研究室の取り組み



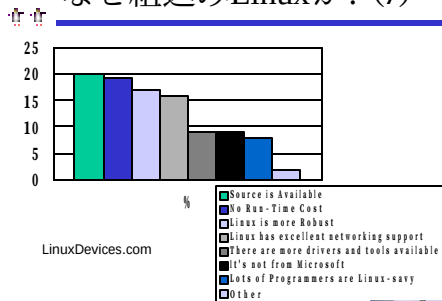
Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

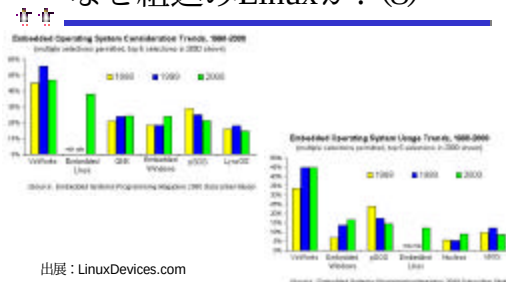
Linux Conferenceチュートリアル



なぜ組み込みLinuxか? (7)



なぜ組み込みLinuxか? (8)



オープンソースとしての組み込みLinux (1)

- オープンソースカルチャ
 - インターネット上に多くのβテスターが存在する
→ プログラムのテストコストを削減できる。
- 公開されたオープンソースは様々な拡張機能が追加される
→ プラグインやドライバなどの様々な拡張機能
- デファクトスタンダードを作る
→ インターネットアプリケーション (Webブラウザ)
- 共同開発の促進
→ 複数企業で重複するインフラソフトウェアを開発しないですむ。

Japan Embedded Linux Consortium
2001年9月26日 Linux Conferenceチュートリアル

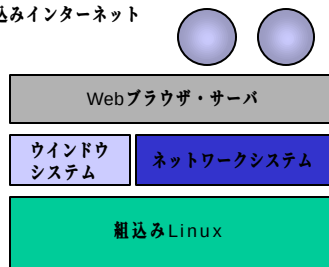
オープンソースとしての組み込みLinux (2)

- オープンソースとしてのLinux
 - デバイスドライバ、ファイルシステム (高信頼ファイルシステム)、プロトコルスタック (IPv6, mobileIP)などのカーネルコンポーネント
 - ウィンドウシステム、ブラウザ、PDA用デスクトップ環境などのミドルウェア
 - VoIPをはじめとする様々なインターネット上のソフトウェア
→ 特に、インターネット上のソフトウェアは充実している。

Japan Embedded Linux Consortium
2001年9月26日 Linux Conferenceチュートリアル

組み込みLinuxを用いたシステム (1)

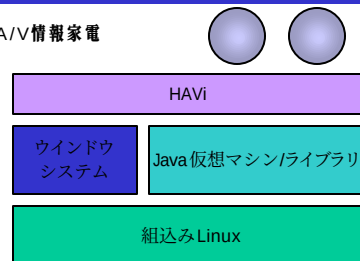
組み込みインターネット



Japan Embedded Linux Consortium
2001年9月26日 Linux Conferenceチュートリアル

組み込みLinuxを用いたシステム (2)

A/V情報家電



Japan Embedded Linux Consortium
2001年9月26日 Linux Conferenceチュートリアル

組込みLinuxの具体例 (1)



- Lineo uC68EZ328 Single Inline Microcontroller Module
- CPU
 - DragonBallEZ(2.7MIPS)
- メモリ
 - 2Mb FLASH ROM
 - 8Mb RAM
- 入出力
 - CrystalLan CS8900A(Ethernet)
 - RS232-C, LCD

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組込みLinuxの具体例 (2)

- カーネルサイズ
 - 464kbytes (TCP/IP, PPP, Ether, Serial, NFS, ext2, romfs)
- ROMファイルシステム
 - 487kbytes
- RAMファイルシステム
 - 4Mbytes
- 使用中のRAM
 - 712kbytes

PID	PORT	STAT	SIZE	SHARED	%CPU	COMMAND
1		S	23K	0K	0.0	init
2		S	7K	0K	0.0	kflushd
3		S	7K	0K	0.0	nfsiod
4		S	7K	0K	0.0	nfsiod
5		S	7K	0K	0.0	nfsiod
6		S	7K	0K	0.0	nfsiod
18	S0	S	89K	0K	0.1	/bin/sh
16		S	15K	0K	0.0	/sbin/inetd
51		S	23K	0K	3.4	/sbin/inetd
52	p0	S	87K	0K	2.0	/bin/sh
55	p0	S	39K	0K	6.5	/sbin/httpd
56	S0	R	25K	0K	0.0	

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組込みLinuxの具体例 (3)

ファイルシステムサイズの内訳

```

tatsuo@tatsuo:~$ df -h
total 224
-rwxr-xr-x 1 tatsuo tatsuo 17760 Oct 26 11:31 agetty
-rwxr-xr-x 1 tatsuo tatsuo 4060 Oct 26 11:31 expand
-rwxr-xr-x 1 tatsuo tatsuo 10608 Oct 26 11:31 klogd
-rwxr-xr-x 1 tatsuo tatsuo 6280 Oct 26 11:31 kramfs
-rwxr-xr-x 1 tatsuo tatsuo 9736 Oct 26 11:31 ksh
-rwxr-xr-x 1 tatsuo tatsuo 14164 Oct 26 11:31 ksh
-rwxr-xr-x 1 tatsuo tatsuo 28288 Oct 26 11:31 ksh
-rwxr-xr-x 1 tatsuo tatsuo 16848 Oct 26 11:31 ksh

```

```

tatsuo@tatsuo:~$ df -h
total 28
-rwxr-xr-x 1 tatsuo tatsuo 178 Sep 14 1999 ksh
-rwxr-xr-x 1 tatsuo tatsuo 106 Sep 12 1999 ksh
-rwxr-xr-x 1 tatsuo tatsuo 574 Sep 14 1999 ksh
-rwxr-xr-x 1 tatsuo tatsuo 126 Oct 26 09:42 ksh
-rwxr-xr-x 1 tatsuo tatsuo 578 Oct 26 11:30 ksh
-rwxr-xr-x 1 tatsuo tatsuo 104 Oct 25 11:21 ksh
-rwxr-xr-x 1 tatsuo tatsuo 82 Sep 14 1999 ksh

```

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組込みLinuxの具体例 (4)

ウィンドウシステム

- X Window System(4-12Mbytes)
 - サーバ 2 Mbytes程度
 - 基本ライブラリ 1 Mbytes程度
 - ツールキット 2 Mbytes程度
 - Micro-X, Tiny-X(1-2Mbytes)
 - Microwindows (www.microwindows.org) (200kbytes - 1Mbytes)
 - サーバ 300kbytes程度
 - ライブラリ 100kbytes程度
 - Nano-X(300kbytes程度)

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組込みLinuxの具体例 (5)

レギュラーXとマイクログの比較

- Server only: 2592Kbytes vs. 848Kbytes RAM
- Server + twm + xterm + xclock: 4584Kbytes vs. 3516Kbytes RAM
- Server + KDE + xterm + xclock: 10924Kbytes vs. 9316Kbytes RAM
- Server + GNOME with Enlightenment + xterm + xclock
 - 13896Kbytes vs. 11780Kbytes RAM
- Server + Motif2.1 with MWM2.0 + xterm + xclock
 - 5780Kbytes vs. 3688Kbytes RAM

GUI Toolkitのサイズ

- Motif 1584Kbytes RAM, 1582Kbytes File Size
- Gnome 1536Kbytes RAM, 2922Kbytes File Size
- KDE 1924Kbytes RAM, 2668Kbytes File Size
- Flyk 728Kbytes RAM, 563Kbytes File Size
- Athena 960Kbytes RAM, 1027Kbytes File Size

フォント

- 圧縮フォント 2-40KB, 通常 4-5KB, 伸張ライブラリは50KB以下

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組込みLinuxの具体例 (6)

Webブラウザ

- Mozilla M14 ROM 21 Mbytes RAM 0.9 Mbytes
- NetFront ROM 6.1 Mbytes RAM 5.1 Mbytes
- ViewML ROM 0.7 Mbytes RAM 2 Mbytes
- Netscape 6.0 ROM 17 Mbytes RAM 0.9 Mbytes
- X Window + GTK + Mozillaの組み合わせ
 - 30Mbytes

- システム毎に機能の差があるので正確な比較は難しいが、コンフィグレーションしやすいものは組み込みでは利用しやすい。

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組込みLinuxの具体例 (7)

Java 仮想マシン

- OTI/IBM VAME (Java2ME) 2Mbytes
- Insignia's Jeode 2.8Mbytes
- Kaffe/GCJ 4.7Mbytes
- Blackdown 16.8Mbytes

Jeodeのコンフィグレーション

- vm only: 360kbytes
- vm + CG: 500kbytes
- vm + CG + io/lang/net/utik: 1000kbytes
- vm + CG + all classes but AWT: 1900kbytes
- vm + CG + all classes: 2800kbytes
- vm + CG + all classes + i18n: 5000kbytes

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組込みLinuxの具体例 (8)

その他のポイント

- カーネルコンフィグレーション
- ライブラリの選択 (glibc, gtk等)
 - glibc: 4Mbytes, Stripすることで1Mbytesに縮小可能
 - それ以下にする場合は、必要な関数のみ選りビルドしなす。
- ツールチェーンの選択
- コマンドをスタティックリンクにするか動的リンクにするか?
- どのコマンドをファイルシステムに入れるのか?
- ROM化とブートローダ
- アプリケーション
 - ハンドライティング (xscribble - graffiti like recognizer)

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組込みLinuxの具体例 (9)

BusyBox:

- The Swiss Army Knife of Embedded Linux (200-300kbytes)

ar, basename, busybox, cat, chgrp, chmod, chown, chroot, chvt, clear, cmp, cp, cut, date, dc, dd, deallocvt, df, dirname, dmesg, dos2unix, dpkg, dpkg-deb, du, dumpkmap, dumptmp, echo, expr, false, fsck, fdflush, find, free, freerandisk, fsck, minix, getopt, grep, gunzip, gzip, halt, head, hostid, hostname, id, ifconfig, initramfs, killall, killpg, length, ls, loadadm, loadfont, loadkmap, logger, logname, ls, lsm, makefs, md5sum, mkdir, mkfifo, mkfs_minix, mkmod, mkswap, mktemp, more, mount, mv, nc, nslookup, ping, pivot_root, poweroff, printf, ps, pwd, rdate, readlink, reboot, renice, reset, rm, rmfd, rmdir, route, rpmunpack, sed, setkeycodes, sh, sleep, sort, stty, swapoff, swapon, sync, syslogd, tail, tar, tee, telnet, test, tftp, touch, tr, true, tty, umount, uname, uniq, unix2dos, update, uptime, usleep, uudecode, uueencode, watchdog, wc, wget, which, whoami, xargs, yes, zcat, [

TinyLogin:

The worlds smallest login/passwd/getty/etc

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組込みLinuxの具体例 (10)

Midori Linux(Transmeta)

- <http://midori.transmeta.com/>
- Crusoeベースの Internet Appliance構築に特化した組込みLinux
 - ACPIベースのPower management
 - Crusoeに特化した機能の提供
 - 圧縮ファイルシステム
 - ramfs: RAMベースのファイルシステム
 - コンフィグレーション管理, パッケージ管理ツール

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

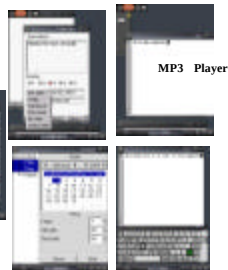
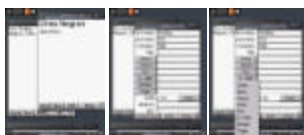
Linux Conferenceチュートリアル



組込みLinuxの具体例 (5)

Linux on PDA

- Compaq iPAQ H3600 PDA
- StrongARM, WindowCE



www.handhelds.org

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

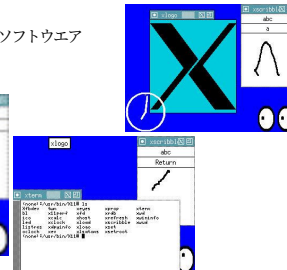
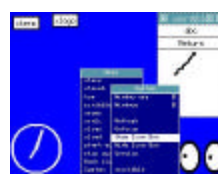
Linux Conferenceチュートリアル



組込みLinuxの具体例 (6)

X Scribble Project

- フリーの手書き入力ソフトウェア



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組み込みLinuxの具体例 (7)

- Microwindows on iPAQ
 - Microwindows
 - Nano-X
 - 小さなXコンソールのウィンドウシステム
 - FLTK(www.fltk.org)
 - 組み込み向けのGUIツールキット
 - ViewML(www.viewml.org)
 - 組み込み向けのブラウザ
 - Qtコンパチブルレイヤ



www.microwindows.org

Japan Embedded Linux Consortium

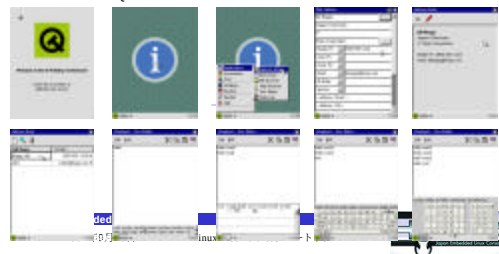
2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル

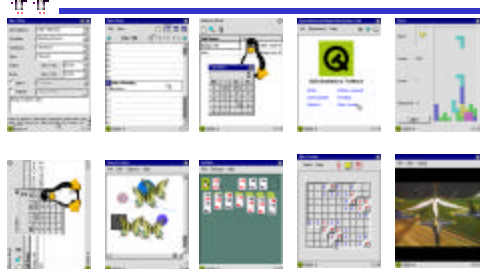


組み込みLinuxの具体例 (8)

- The Qt Palmtop Environment(基本は2.5M)
 - <http://www.trolltech.com/products/qt/embedded/qpe.html>
 - Qt Embedded GUI Toolkit



組み込みLinuxの具体例 (9)



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組み込みLinuxの具体例 (10)

PocketLinux on iPAQ(www.pocketlinux.org)
Java (Kaffe)とXMLベースのPDA環境



MP3 Player

Handwriting recognition

Application Manager

Email

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組み込みLinuxの具体例 (11)



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組み込みLinuxの具体例 (12)

Sylvania Internet/TV



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

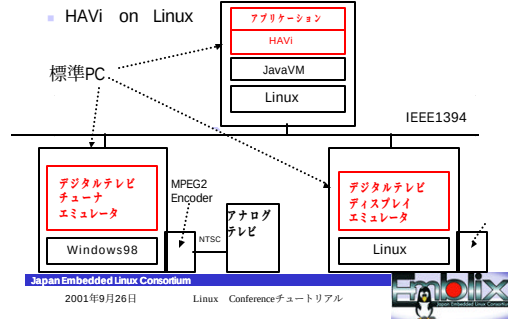
Linux Conferenceチュートリアル



組み込みLinuxの具体例 (13)



組み込みLinuxの具体例 (14)



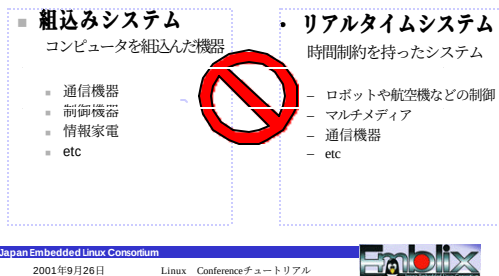
組み込みLinuxの具体例 (15)



技術的問題点

- リアルタイム性
 - 既存のRTOS上の資産の有効利用
 - アプリケーション毎のプロファイル
 - リアルタイムと省消費電力との関係
 - コンフィグレーション可能なライブラリ, ミドルウェア
 - QOSベースのコンフィグレーションツール
 - モジュール間の依存関係を管理するツール
- Japan Embedded Linux Consortium
2001年9月26日 Linux Conferenceチュートリアル

リアルタイムLinux (1)



リアルタイムLinux (2)

- リアルタイムスケジューリング
 - 優先度付きブリエンプタブルスケジューリング
 - RMAベースの固定優先度スケジューリング
 - EDFベースの動的優先度スケジューリング
 - 周期スレッド
 - 周期的に実行するアクティビティを表現するための抽象化
 - 高精度タイマ
 - μ 秒単位の精度を扱えるタイマ
- Japan Embedded Linux Consortium
2001年9月26日 Linux Conferenceチュートリアル

リアルタイムLinux (3)

- 優先度逆転問題の管理
 - 優先度の高いタスクが優先度の低いタスクに実行をブロックする。
 - アンバウンデッド優先度逆転
 - 優先度継承プロトコル
 - 同期, プロセス間通信
 - 優先度逆転時間を短くする
 - カーネル内プリエンプタビリティ
 - インタラプト管理
 - カーネル内割り込み禁止区域
 - ネットワークシステムにおける優先度逆転

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



リアルタイムLinux (4)

- デバイスドライバ
 - 割り込み管理
 - 割り込みは他のアプリケーションの優先度より高い優先度で実行される。 → 優先度逆転が生じる。
 - ボトムハーフ
 - すべてのアクティビティより高い優先度で実行される。
 - トップハーフ
 - ユーザレベルのアクティビティより高い優先度で実行される。
 - 割り込みタスク
 - タスクの優先度で実行される。
 - ワーカモデル, ユーザタスクのコンテキストで実行

Japan Embedded Linux Consortium

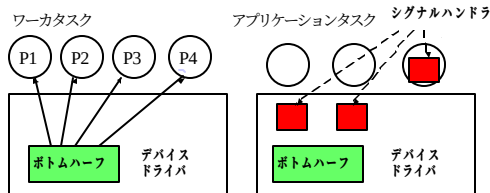
2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



リアルタイムLinux (5)

割り込み処理における優先度逆転の管理



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



リアルタイムLinux (6)

- リソースアカウンティング
 - 各タスクが利用するリソース量をモニタリングし, 指定した量を超えないように管理する。
 - CPU, メモリ, デバイス (ディスク, ネットワーク)
 - 例えば, あるタスクのCPU使用量を20%とすると, そのタスクは20%以上のCPUを使用することが許されない。
 - ネットワークのバンド幅の使用量が10%を超えることが許されない。
 - Real-Time Machオペレーティングシステム

Japan Embedded Linux Consortium

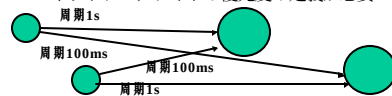
2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



リアルタイムLinux (7)

- 分散アプリケーションの作成
 - 優先度逆転を生じないアプリケーション構造
 - 優先度の異なる処理は異なるスレッドで実行する
 - 優先度の異なる要求は異なる通信チャネルを用いる
 - 優先度の伝播方法
 - クライアントの優先度とサーバの優先度を同一にする。
 - ネットワークワイドの優先度の定義が必要



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



リアルタイム性を満足できない原因

- 割り込みハンドラ
- ノンプリエンプタブルカーネル
- ネットワークアーキテクチャ
- 割り込み禁止区間
- 実時間タイマ

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



割り込みハンドラ (1)

- 割り込みハンドラを実行中はアプリケーションの実行は遅れる。
 - 多重割り込みによりさらに遅れる可能性がある。
- 改善方法
 - 割り込みハンドラはできる限り短くしなければならない。
 - Bottom Halfに処理を移すだけではだめ。
 - 優先度の高いプロセスの処理中は優先度の低い割り込みハンドラの実行をおこなわない。
 - スタベーションが発生する可能性がある。
 - ユーザレベルデバイスドライバ

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



割り込みハンドラ (2)

- ボトムハーフの扱い
 - Linuxは多くの長い割り込みはボトムハーフとして実現されている。
 - コンテキストスイッチのとき、割り込み、システムコールからリターンするときに呼ばれる。
 - ボトムハーフの呼び出しを制御することにより振る舞いの不確実性が少なくなるのでは?
 - Ex. リアルタイムタスクが起動中はボトムハーフは呼び出さないなど。

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



ノンプリエンパタブルカーネル

- システムコールの実行中はプリエンプションポイントに達しないとコンテキストスイッチが発生しない。
 - 割り込みハンドラの実行が終了して、現在実行中のプロセスがプリエンプションポイントに達したときプリエンプションが発生する。
- 改善方法
 - プリエンプションポイントを増やす

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



ネットワークアーキテクチャ

- インカミングパケットの処理は割り込みハンドラの中でおこなわれる。
 - 割り込みハンドラはコンテキストスイッチを遅らせる。
- 改善方法
 - 優先度の高いプロセスの実行中はパケット処理を遅らせる。
 - Lazy Receiver Processing/Signal Receiver Processingの利用
 - ユーザレベルプロトコルスタック

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



割り込み禁止区間

- 割り込みが遅れることはコンテキストスイッチも遅れる。
 - Linuxはすべての割り込みを禁止する
 - 他のBSDでは割り込みレベルごとに禁止する。
- 解決法
 - 割り込み禁止区間を短くする。
 - デバイスドライバとネットワークコードに割り込み禁止区間は多く使用されている。

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



実時間タイマ

- タイマの精度によりプロセスの起動が遅れる可能性がある。
 - 割り込みによりタイマハンドラを起動している場合はタイマの精度が周期実行の制度に影響を与える可能性がある。
- 解決法
 - 高精度タイマを利用する(86系の場合は8254チップを用いて高精度にすることが可能)。

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



リアルタイムLinuxアーキテクチャ

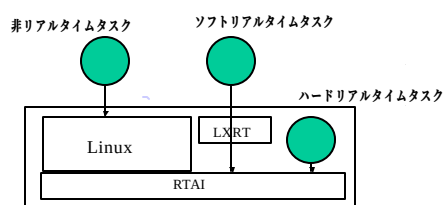
- 優先度逆転を最小化したカーネル
- ハイブリッドアーキテクチャ
- リソースカーネル

モンタビスタ HardHatLinux

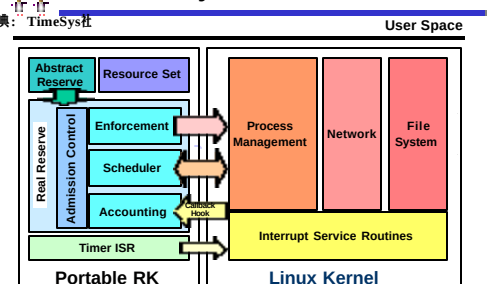
- Linuxの標準インタフェースを全く変更せずリアルタイム性の向上を目指している.
- リアルタイムスケジューラ
 - 高性能でプリアリティレベルが多い
- カーネルプリエンタビリティ
 - システムコール実行中でもプリエンションが可能
- リアルタイム特性プロジェクト
 - カーネル内のプリエンションできない部分の調査
- ViewMLやMicrowindowsなどの組込み向けミドルウェア



リネオ Embedix Real-Time



TimeSys Linux/RT



リアルタイムLinuxの比較

[illegible]

出典
LinuxDevices

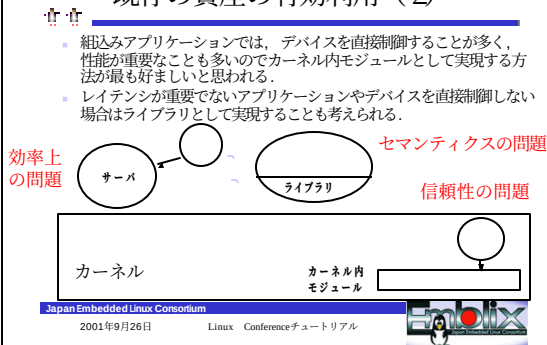


既存の資産の有効利用（１）

- 既存のRTOSの資産をどのように有効利用するか
 - 既存のソフトウェア資産をすべてLinux上に移植することは短期的には現実的でない。
 - ソフトウェア開発コストは全体のコストの内の大きな部分を占める。
 - ソースコードがなくバイナリしか存在しないコンポーネントも存在する。
 - RTOS上のソフトウェアはタイミングがシビアなものや、バスを直接アクセスするものなどが存在する。
 - ユーザレベルのOSエミュレーションは困難。



既存の資産の有効利用 (2)



日本エンベデッドリナックスコンソーシアム

組込みLinuxに関する産学協同のコンソーシアム

- 現在約80組織が加盟
- 組込みLinuxの普及促進
- 組込みLinuxの周辺技術の標準化
- 成果は基本的にオープン (仕様はすべてオープン)
- 国内外のLinux関係、及び、組込み/リアルタイム 関連団体との情報交換
- 学術団体、大学の研究室との共同

<http://www.emblx.org/>

Japan Embedded Linux Consortium
2001年9月26日 Linux Conferenceチュートリアル

コンソーシアムの意義

組込み技術のオープンソース化の推進

- 組込みOS, リアルタイム化, ミドルウェア

組込みLinux上の様々な技術の標準化

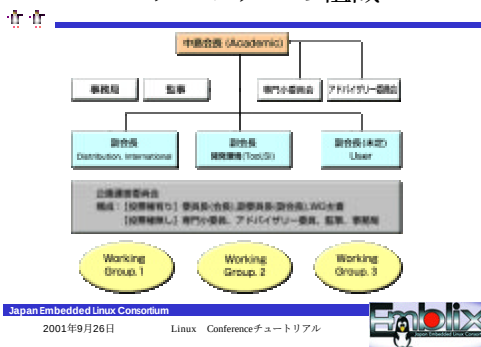
- カーネル内, カーネルAPI, ミドルウェア

組込みLinuxに関する技術の情報交換の場

- 組込み機器メーカ, 組込みLinuxディストリビュータ, ツールベンダ

Japan Embedded Linux Consortium
2001年9月26日 Linux Conferenceチュートリアル

コンソーシアムの組織



コンソーシアムの活動

ワーキンググループ

- 開発環境ワーキンググループ
- リアルタイムワーキンググループ
- ハイブリッドアーキテクチャワーキンググループ (Linux on ITRON)

専門小委員会

- 技術調査小委員会
- 法務小委員会

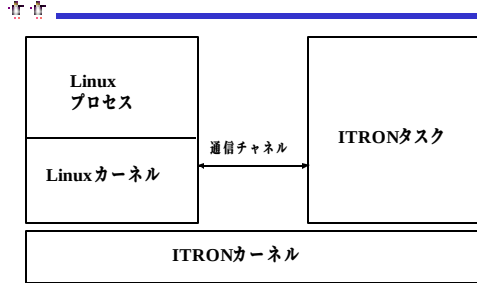
Japan Embedded Linux Consortium
2001年9月26日 Linux Conferenceチュートリアル

リアルタイムワーキンググループ

- リアルタイムLinuxの調査
 - リアルタイム性の違い, アーキテクチャの違い
 - どのようなときにどのようなアーキテクチャが適しているのか?
- リアルタイム向けデバイスドライバ作成ガイドライン
 - リアルタイムシステムに適したLinuxデバイスドライバの作成手法.
- リアルタイム向けミドルウェア作成ガイドライン
 - リアルタイムに適したミドルウェアをLinux上に構築する場合の作成手法.
- その他の項目の検討

Japan Embedded Linux Consortium
2001年9月26日 Linux Conferenceチュートリアル

ハイブリッドアーキテクチャWG



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組みこみLinux使用の際の問題点

- ライセンス (1)

- Linuxを使用する場合は様々なライセンスを考慮する必要がある。
 - GNU (GNU Public Licence)
 - LGPL(Lesser or Library GPL)
 - BSD License
 - Sunのライセンス, Netscapeのライセンス

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組みこみLinux使用の際の問題点

- ライセンス (2)

- GPLを用いたLinuxカーネルを利用する場合
 - カーネルインタフェースを利用するアプリケーションはGPLである必要はない。
 - ダイナミックローダブルモジュールもGPLである必要はない。(ただしグレー, Linusの見解)
- LGPLを用いたライブラリを利用する場合
 - 動的リンク, 静的リンクどちらを用いた場合も公開不要。
- GPLを用いたライブラリを利用する場合。
 - 動的リンクを用いた場合は公開する必要はないが, 静的リンクを用いたときは公開する必要がある。

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組みこみLinux使用の際の問題点

- 並行プログラミング (1)

- Linux上の組みこみアプリケーションは従来の組みこみアプリケーションよりもサイズが大きくなる。
 - 静的なメモリ管理だけでは大規模なアプリケーションを開発することはできない。
- 大規模マルチスレッドプログラム構築の問題点
 - 排他同期
 - メモリの動的割り当てと解放
- スレッドよりプロセスを使う
 - リソースが共有されない
 - プロセス終了時にリソースが解放される。

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組みこみLinux使用の際の問題点

- 並行プログラミング (2)

- 排他制御
 - 排他制御の範囲をできるだけ小さくする。ロックとアンロックを別なプロシジャにわけない。
 - アクティブオブジェクトデザインパターン
 - それぞれの共有リソースが異なるスレッドを持つ。スレッド間はメッセージ通信を行う。
 - Javaのような構造化同期シナクスの持つ言語を用いる。
- 動的メモリ管理
 - 割り当てと解放を別スレッドで行わない。
 - 動的メモリ管理を取り入れる。
 - Javaのような動的メモリを管理機構を持つ言語を利用する。
- 性能面, リソース制約面で問題なければJavaを用いることを検討する。

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組みこみLinux使用の際の問題点

- リアルタイム性 (1)

- 様々なリアルタイム制約を持つアプリケーションを構築する場合はハイブリッドアーキテクチャを利用する。
 - RT-Linux, RTAI, Linux on ITRON
 - 周期が短い(1msec以下)ハードリアルタイムタスク
 - Hard Hat Linux, Linux/RT
 - 周期が長い(1msec以上)ハードリアルタイムタスク
 - ソフトリアルタイムタスク

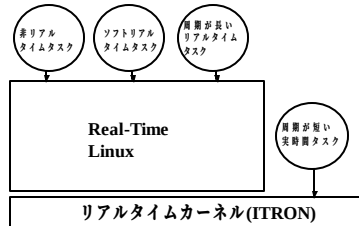
Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組みこみLinux使用の際の問題点 - リアルタイム性 (2)



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組みこみLinux使用の際の問題点 - セキュリティとインターネット (1)

- 将来の多くの組み込み機器はインターネットに接続される。
 - 誰かから攻撃される可能性がある。
 - インターネットに接続されることにより世界中から攻撃される可能性がある。
 - バッファオーバーフロー攻撃
 - Denial of Service攻撃
- インターネットアプライアンスソフトウェア構築にはセキュリティを考慮する必要がある。

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組みこみLinux使用の際の問題点 - セキュリティとインターネット (2)

- IPv6導入に関する問題
 - 現在のLinuxのIPv6は不完全。
 - IPv6を導入するだけではセキュリティの問題は解決されない。
 - IPv6が解決するのはアドレス枯渇の問題だけ。
 - 様々なプロトコル(Jini, HAVi, UPnP)
 - 様々なメディア(MPEG2, DV, RealVideo)
 - プロトコル変換、メディア変換などはアプリケーションに依存

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組みこみLinux使用の際の問題点 - ユビキタスコンピューティング (1)

- 様々なものにコンピュータが埋め込まれネットワークに接続される。
 - 様々な機器で移動するポータブルなソフトウェア
- 我々の生活がコンピュータに依存してくる。
 - 悪者からの攻撃、マシン障害、自然災害などに生き残る機器が必要とされてくる。

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組みこみLinux使用の際の問題点 - ユビキタスコンピューティング (2)

- コンパイラ、ネットワークプロトコル、OS、分散システムなどの基本知識が重要となってくる。
 - 新しいユーザインタフェース
 - 環境に応じて振る舞いを変えるアプリケーション
 - Peer-to-peerシステム
 - 様々なサービスの統合

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



将来課題 (1) - 開発方法論 -

- リソース制約を考慮した開発方法論
 - 従来の方論は、できる限り抽象化されたモデルを用いて設計をおこなうことを推奨しているが、リソース制約が存在する場合はリソースのことを明示的に考えて設計をおこなう必要がある。
 - 同期、IPC、通信
 - CPUやメモリ使用量、電源使用量
 - 透過性の利用は実装を高価にする。

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



将来課題 (2) - ミドルウェア -



- リアルタイムミドルウェア
 - RT-Java, RT-CORBAなどの標準ミドルウェア
 - 同期やスレッド生成のコスト
 - OSプリミティブは高価
 - リアルタイムではスピンロックの利用は困難
 - いかに優先度逆転を避けるか?
- マルチメディア処理用ミドルウェア
 - ビデオ, 音声などのマルチメディア処理は様々なターゲットで必要となる。
 - 標準のインタフェースの欠如
 - 様々なマルチメディアコンポーネントの促進

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



将来課題 (3) - 教育



- 次世代組み込みシステムの開発
 - 動的メモリ管理と並列処理の組み合わせ
 - ネットワーク, セキュリティ
 - ユーザレベルデバイスドライバ
- 複雑なソフトウェアの開発
 - オブジェクト指向, デザインパターン, フレームワーク
 - 超ポータブルアプリケーション

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組み込みLinuxの実際 (1)



- Linuxはフリー
 - 正しいけどサポートのための費用は必要
- Linuxはセキュア
 - ActiveX のプログラムは動かない
- Linuxはオープンソースコミュニティにサポートされている
 - 正しいけどほとんどは英語の資料である
- Linuxは移植性が高い
 - 正しいけど多くのバージョンアップがある
- Linuxは安定している
 - 正しい。

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組み込みLinuxの実際 (2)



- Linuxはリアルタイムサポートしている
 - 正しい, しかし様々な選択があり, ノウハウが必要.
 - Emblixリアルタイムワーキンググループ
- Linuxは開発環境がない
 - すぐに多くのツールが販売される
 - Emblix開発環境グループ
- Linuxは既存に資産を利用できない
 - Linux on ITRON
 - Emblixハイブリッドアーキテクチャワーキンググループ
- LinuxはすべてGNUライセンス
 - Linux 上のアプリケーションは様々なライセンスが存在する。

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組み込みLinuxの実際 (3)



- Linuxはすべてオープン
 - フリーでない商用コードも存在する
- Linuxカーネルは大きい
 - 共有ライブラリより小さい
- Linuxは多くのフリーアプリケーションが存在する
 - 正しいけど商用クオリティではない
- LinuxはIPv6をサポートしている。
 - 現在の実装は現状の仕様を満足しない。
 - USAGIプロジェクト (<http://www.linux-ipv6.org/>)
- 次世代の複雑な組み込みシステムを構築するためにはLinuxのような世界的に認知されたオープンソースのOSは必要不可欠である。
 - ソースはただだけどノウハウはただではない!

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



組み込みLinuxの将来



- 現在の組み込みLinuxの普及は様々な企業がコンポーネントを提供していることに起因する
 - アマチュアプログラマによるハッキングの成果ではない。
 - オープンソースを世の中が見とめなければLinuxには将来はない。
 - しかし, 既に多くの企業がオープンソースに賛同し, 製品コストを削減している。
 - 様子を見ていては後から追いつけない。
- POSIXは世界標準なOSインタフェースなのでLinuxがベースとするPOSIXが廃れることは考えられない。
- いずれにしてもほとんどのOSインタフェースはPOSIXベースとなる。

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



オープンな組み込みプラットフォームに向けて

- インターネットと組み込み技術の真の融合を実現するためのインフラとして組み込みLinuxは最適
- 真にオープンな組み込みプラットフォーム
 - 様々なソフトウェアコンポーネントの普及
 - 問題点の早期発見, マルチベンダサポート
 - 産学共同でのソフトウェア開発
- 技術促進のための組織の重要性
 - 中立的な情報収集, 問題点の指摘
 - 先行技術の実験等, 組み込みLinux技術に関する共同研究的な役割

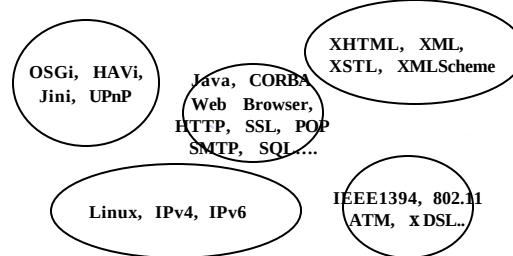
Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



オープンな組み込みプラットフォームに向けて



Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル



複雑なソフトウェアを構築するためには
堅牢な基盤ソフトウェアが必要不可欠である。

オープンソースは**安定した**ソフトウェアの構築,
廉価な基盤ソフトウェアの構築を可能とする
優れたソフトウェア開発手法である。

オープンソースに基づくLinuxは**加速度的に**
進む情報環境を構築するための基盤として
必要不可欠なものである。

Japan Embedded Linux Consortium

2001年9月26日

Linux Conferenceチュートリアル

