

職業訓練向け Linux デバイスドライバ開発教育用教材

Vocational-training-oriented materials to teach Linux device driver development

堀田 忠義† 秋葉 将和† 寺内 美奈† 菅野 恒雄‡
Tadayoshi Horita Masakazu Akiba Mina Terauchi Tsuneo Kanno

1. はじめに

職業能力開発総合大学校[1] (以下「職業大」と略記する) の総合課程 (4 年間の学士課程) の上位学年学生向けに開発した, Linux デバイスドライバ教育のための教材について報告する. 開発した教材は, 自作の自走車, ドライバやユーザプログラムのサンプルコード, Wii リモコン (任天堂社) [2], テキストおよび Moodle[3] コンテンツから構成される. 自走車は ARM9 仕様のマイコンボードによって制御され, モータによる駆動部分の他に, 障害物検出用スイッチや距離センサなどが搭載されている. Wii リモコンと ARM ボード間は Bluetooth アダプタを介して通信する. 同リモコンに搭載されている加速度センサや押しボタンの機能を用いた課題を設定する事によって, 受講学生が実習内容に対する興味を維持増進できるように工夫されている.

なお, 対象の授業の概要を以下に示す.

- 対象の学生: 職業大総合課程電子情報専攻 3 年生 14 名.
- 対象の授業: 「組込みシステム構築実習」(2 単位).
- 実施形態: 10 日間の集中授業 (2 月下旬から 3 月上旬の平日の午前および午後 10 日間連続して行う授業形式), 計 72 時間.
- 教材が扱う範囲: Linux やネットワークの基本事項, クロスコンパイル, 各種ハードウェア機能とデバイスドライバの関係に関する課題など (詳細は後述する).
- 前提: 学生は 2 年時の「ネットワーク工学実習」(72 時間)にて, Linux やネットワークの基本事項を既に学習している. またいくつかの実習科目を通じて C 言語も学習済みである.

e-learning による自動採点システムの 1 つである Moodle サーバを構築し, 小テスト形式の多くの同コンテンツの作成も行い, 実習の初日と最終日にそれを利用した小テストも実施している. そこから得られたデータより, 提案教材の有効性について述べる.

本論文は, 文献[4]の拡張版である.

2. 日本の職業訓練施設と職業大

職業訓練施設には, 独立行政法人 高齢・障害・求職者雇用支援機構[5]が管理するポリテクセンター (職業能力開発促進センター) 並びにポリテクカレッジ (能開短大), および都道府県が管理する職業技術校があり, 日本全国に展開している. またそのような施設で実際に在職者や離職者に職業訓練を行っている「教員」を, 職業訓練指導員という.

職業大の総合課程の卒業生の 4 割程度(約 30 人)は職業大

†職業能力開発総合大学校

‡新潟職業能力開発短期大学校

の長期養成課程(2 年課程)に進学する事により, 職業訓練指導員免許を取得し, そのような職業訓練指導員になる.

加えて職業大は, 現役職業訓練指導員の再教育のための研修 (以下では「指導員研修」と略記する) も行っている. 同研修には様々な分野のコースが立てられており, 年間のべ約 5000 人の職業訓練指導員が受講する.

3. 背景, 新規性, 必要性など

Linux デバイスドライバ開発の教育について, 一般の工学系大学のカリキュラムにおいてはほとんどされていないか, 高々 1 日程度の座学あるいは実習を行うようなものが散見される程度である.

一般の工学系大学の授業で Linux ドライバの教育がほとんどされない理由は, 1) 現役の大学生のような若年者にはそもそも難しすぎる内容である, 2) その技術を習得しても学術研究などでの活用がほとんど期待できない, あたりだと思われる. しかしながら職業大では, 前述のように総合課程の卒業生の多くが将来職業訓練指導員となる事, および職業訓練施設で Linux ドライバの教育訓練を行う可能性があることから, その関連の授業を受けておくことが望ましいと言える.

ところで, 対象者にとって難解であるとあらかじめ分かっている内容を教えるに際しては, 技能習得のためには通常の授業以上の「苦労」が必要なため, 一部の受講者が学習の初期段階から授業内容に対して多少のネガティブな気持ちを持ってしまう事は, 十分に予測できる. そのようなネガティブな印象は, しばしば後続のより高度な関連の技能習得に, 悪影響を与える. 従って, 大学のような教育機関で Linux ドライバの教育訓練を行うには, そのための何らかの対処が必要である.

一方で, 職業訓練施設をはじめ[6], 一般企業のセミナーなどによる Linux ドライバ開発の教育や教材は既に多くあるが, それらの対象者は現役の IT 技術者や離職者である社会人であって, 現役の大学生と比較して社会経験や技術的経験が豊富な方々である.

以上より, Linux デバイスドライバ教育を扱う優れた教材は既に多くあるにもかかわらず, 職業大の総合課程の 10 日間の集中実習のような機会に, 受講生の興味を維持かつ増進しうるような, 提案教材に匹敵するような教材は, 現時点では見当たらない. よって, 提案教材を開発するに至った.

4. 開発教材

図 1 に, 自走車と Wii リモコンの外観を示す.

自走車を構成する主な部品は以下の通りである. : ARM9 ボード (日昇テクノロジー社製 mini2440[7]), 駆動部 (専用基板 (自作), 直流モータ, ギャボックスなど),

距離センサ (シャープ社製 GP2Y0A21YK), USB 無線 LAN アダプタ (プラネックス社製 GW-US54GXS), Bluetooth ドングル.

Wii リモコンの機能のうち, 教材で使用するものは, 十字キーや押しボタン, 3 軸の加速度センサ, 振動機能, および LED インジゲータである.

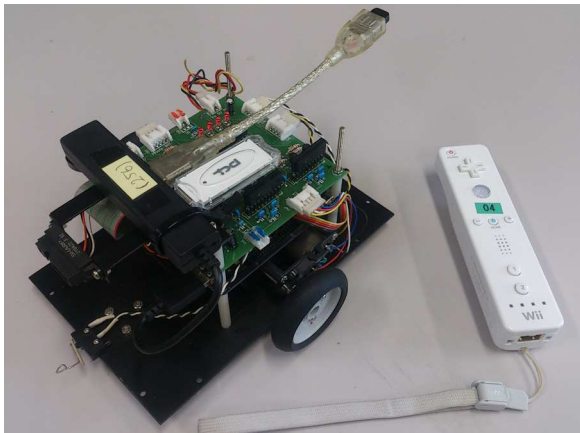


図 1 自走車 (左) と Wii リモコン (右) の外観

表 1 開発環境

| | |
|--------------|-----------------------------|
| ベース OS | Microsoft Windows 7 Premium |
| 仮想化ソフト | VMWare Player 6.0.3 |
| ゲスト OS | Fedora 13 i386 版 |
| コンパイラ | arm-linux-gcc 4.3.2 |
| Bluetooth 通信 | bluez-3.36 |
| ARM ボードの OS | linux2.6.29 |

表 1 に, 開発環境を示す. NFS(Network File System)と無線 LAN を使用する事により, 自走車の ARM ボードは Fedora13 の HDD 領域の一部をマウントする. Fedora13 上でコンパイルされた実行形式のファイルはそのマウントされた領域にあるように設定することにより, 自走車でプログラムの実行手順を容易にしている.

実習用のテキストは, 110 ページから成る著者が自作のものを使用する.

Moodle サーバおよび小テストなどのコンテンツについては後述する.

5. 実施日程と課題の概要

まず実習の日程について以下に列挙する.

- 1 日目: Moodle 小テスト, 開発環境の構築 (VMWare のインストール, Fedora13 イメージの展開, 無線 LAN と NFS 環境), Linux の基本事項の復習, ARM ボードの初期設定.
- 2 日目: Makefile の説明, Hello World の実行, 自走車の概要説明, デバイスドライバの基本 (課題), モータドライバ 1 (課題), スイッチ割り込み (課題).
- 3 日目: モータドライバ 2 と 3 (課題), フォトインタラプト割り込み (課題), 距離センサ (課題).

- 4 日目: Wii リモコン 1 と 2 (課題).
- 5 日目: Wii リモコン 3 (課題), ボードのブザードライバ (課題).
- 6 日目: Linux コマンドライン, vi エディタ, パーミッション (おさらい).
- 7 日目: 自由課題の仕様策定, 作業.
- 8 日目: 自由課題の作業.
- 9 日目: 自由課題の発表練習, 発表会.
- 10 日目: Moodle 小テスト, レポート作成, 片付け.

初日の Moodle 小テストの内容は, 以前の実習科目で受講生が習得しているはずの内容 (C 言語の基本, Linux コマンドライン, ネットワークの基本事項など) であり, 詳細は後述する.

それ以降から 4 日目の Wii リモコン 1 までの課題については, サンプルのソースコードの一部を修正するような「穴埋め」的課題である. 例えば, 片方のモータのソースコードを参考にして, もう片方のコードを記述するような課題がある. 一方で, 6 日目の課題以外の 5 日目以降の課題は自分で関数から定義するようなより高度な内容になっている.

6 日目の課題内容は, 基本的な内容に逆戻りしており, 本来は初日か 2 日目に行うべき内容であるが, 6 日目の実施になってしまった理由は, 5 日目までの受講生の様子から必要を感じて急ぎで行うようにしたからである. (次年度以降は 2 日目に行う予定である.)

自由課題は 2 人 1 組での実施となり, 与えられた仕様条件を満たすようなオリジナルなシステムを考案してプログラムする内容になっている.

10 日目の Moodle 小テストの内容は, 初日の内容に加えて, この実習で学習した Linux デバイスドライバの内容も含む. またいくつかの項目についての印象や, 感想, 提案事項も問うている.

6. Moodle サーバとコンテンツ

Moodle サーバを構築し, かつ同サーバのコンテンツとして上記実習に関連した内容の小テスト形式の課題を作成し実施した.

構築した Moodle サーバの構成を表 2 に示す. OS として Linux をインストールした通常の DOS/V 機に, 必要なサーバ類をインストールおよび設定をしている.

表 2 Moodle サーバの構成

| | |
|----------------|--------------------------|
| CPU | AMD FX(tm)-8120 (8 Core) |
| RAM | 4GB DDR3 |
| OS | CentOS 7.0 |
| httpd サーバ | Apache 2.4.6 |
| データベース | mariadb 5.5.44 |
| php | php 5.4.16 |
| Moodle | moodle 2.9.3 |
| Moodle 追加プラグイン | Regular expression |

Moodle コンテンツ部分の概要を以下に述べる.

小テストの出題範囲は以下の通りである。カッコ内の数字は問題数である。

- C 言語 (変数の宣言と代入(6), if 文(4), 一重繰り返し (4), 関数(2), 構造体(2)) .
- 仮想環境(5), Linux コマンド(5), ネットワーク関連(6), クロス開発(7).
- Linux デバイスドライバ関連 (ファイルの種類とコマンド(5), ドライバ関連の関数 1 (6), ドライバ関連の関数 2(4)) .

Linux デバイスドライバ関連以外の部分は、初日と 10 日目の両方で、ほぼ同じ内容の小テストを実施している。

C 言語や各種コマンドに関連した小テストでは、正規表現を扱える **Regular expression** プラグインを有効に使用し、ソースコードやコマンドを 1 行分だけタイプさせるような問題を多く出題している。以下の例題 1 にそのサンプルを示す。

例題 1 :

buzzer 関連のドライバをボードに組み込むためのコマンドをタイプしなさい。(問題文はもう少し長い説明文が付加されているがここでは省略する)

答え: `insmod my_buzzer.ko`

ドライバ関連の関数やクロス開発の用語に関わる問題では、多岐選択問題形式を多く出題している。以下の例題 2 と 3 にそのサンプルを示す。

例題 2 :

(サンプルのソースコードを表示できるようにしておいて、) ユーザプログラムの 66 行目「`close(fd);`」が実行されたときに、ドライバプログラムで実行される関数を 1 つ選びなさい。

(`s3c24xx_buzzer_close` など 10 個の選択肢の中から 1 つを答えとして選ぶ仕様になっている。)

例題 3 :

デバイスドライバ空間で使用する関数「`printk()`」の説明文として正しいものを 1 つ選びなさい。

(10 個の選択肢の中から 1 つを答えとして選ぶ仕様になっている。)

ドライバ関連の関数 1 では、例題 2 のように、ユーザプログラムでのドライバ関連のある関数の実行が、デバイスプログラムでのどの関数の実行に対応するかを問うている。一方で、ドライバ関連の関数 2 では、例題 3 のように、ドライバプログラム内のみで使われる `printk()` や `copy_to_user()` などの関数の機能を問うている。

7. Moodle でのデータと考察

初日と最終日に行った Moodle での小テストの結果を表 3 に示す。表での値は各項目の出題範囲での全受講生の正解率の平均である。

表 3 のデータより、C 言語や仮想環境、Linux コマンド、ネットワーク関連、クロス開発に関しては、初日と比べて

10 日目の数値が高く、かつ 70%を超えている事から、提案教材は、それらの内容を教えるという観点から有効であると言える。C 言語については、学生は 1 年生の時から様々な実習科目を通じて繰り返し学習してきたので、学生は十分スキルを身に付けているはずであるので、このような 10 日間の実習の前後でスキルの向上は期待できないと予想されたが、実際には正解率 7.6%の向上が確認できた。

表 3 Moodle 小テストの結果

| 小テスト課題の範囲 | 正解率の平均(%) |
|--|-----------|
| C 言語 (1 日目) | 63.9 |
| 同上 (10 日目) | 71.5 |
| 仮想環境, Linux コマンド, ネットワーク関連, クロス開発 (1 日目) | 40.1 |
| 同上 (10 日目) | 73.5 |
| ドライバのファイルとコマンド | 55.7 |
| ドライバ関連の関数 1 | 51.2 |
| ドライバ関連の関数 2 | 41.1 |
| ドライバ全体(上記 3 項目全部の平均) | 49.3 |

仮想環境〜クロス開発の内容については、学生は 1 年前の実習科目で経験しただけで、それ以降そのスキルを使う機会がなかったため、1 日目のテストの結果は良くなかったが、10 日目のテストでは数値が大いに向上している事から、このような分野を教えるという観点でも提案教材の有効性が示されている。

ドライバ関連部分については、全体では正解率約 50%、ドライバ関連の関数 2 に至っては正解率約 40%と、決して高くない正解率であるが、受講生にとっては初めて学習する内容であるため、もし初日にテストを行ったなら正解率 0%が予想される事を考えると、10 日目のこの正解率は「大きな向上」であると言える。今後は、初めて学ぶ事項であっても正解率が更に高まるように教材および教授法の改善を図る。

表 4 印象の変化に関するデータ (平均値)

| 調査項目 | 実習前 | 実習後 |
|----------------------------------|-----|-----|
| デバイスドライバ全般 | 2.4 | 3.3 |
| 自走車のようなハードを扱うシステム開発全般 | 2.4 | 3.2 |
| OS 無しシステムと比較した場合の組込み Linux の存在意義 | 2.9 | 3.5 |

Moodle の小テスト形式を使用して、「印象」について調査した結果を表 4 に示す。同表にある 3 つの項目につき、実習を事項前と受講後のそれぞれの印象を (0=すごく嫌い, 1=きらい, 2=少しくらい, 3=普通, 4=面白い, 5=すごく面白い) という意味で 0~5 の数値を入力する形式で行った。表の値はその平均値である。各項目とも改善が見られる。数値で 3 未満の値は「ネガティブな印象」、3 よ

り大きな値は「ポジティブな印象」を意味するが、表のデータが意味するのは、実習を境にして受講生の 3 項目に関する印象がネガティブからポジティブに変化したという事である。

Moodle の小テスト形式を使用して、「動機づけ要因」(「この実習への興味の維持/増進について、あなたにとって一番大きな要因」)について調査した結果を表 5 に示す。同表の「選択肢」の欄にある 11 個から 1 つを選ぶ多岐選択問題形式として受講生に提示した。「回答数」は、受講生がその項目を選択した数を意味し、同表ではその数が多かった順に掲載している。従って回答数が 0 は、受講生のうちだれもその項目を選択しなかった事を意味するが、調査時に選択肢として提示したという意味で参考までに同表に掲載している。

表 5 動機づけ要因

| 選択肢 | 回答数 |
|---|-----|
| Wii リモコンの加速度センサーを使用した事 (リモコン形状の物を「振る」という動作) | 4 |
| Wii リモコンのボタンを使用した事 (リモコン形状のボタン押しという動作) | 4 |
| デバイスドライバプログラミング | 2 |
| Linux, Fedora | 2 |
| 自走車 (モータで実際の物が動く事) | 1 |
| C 言語 | 1 |
| Moodle のクイズ, 「バッジ」の存在 | 0 |
| 距離センサ, 障害物検出用スイッチ | 0 |
| 組込み開発 (マイコン搭載ハードとプログラミングの両方があること) | 0 |
| VMWare player | 0 |
| そのような要因, 事項は無い (何も楽しくなかった) | 0 |

表 5 のデータより、ほぼ予想できた事だが、Wii リモコンに関連した項目の回答数が合計で 8 件であり、ゲームコントローラーの類の効果的な使用が、大半の受講生の興味の維持、増進に役に立つことが示されている。一方で、少数派ではあるが、デバイスドライバプログラミングや Linux, Fedora といった、一見地味ではあるが創造的な項目を選択した受講生もおり、そういった要素も一部の受講生の興味の維持、増進に役に立つ事が分かった。

8. まとめ

提案教材を使用した実習によって、Linux デバイスドライバ教育の部分だけでなく、その関連の C 言語やネットワークといった教育項目についても受講生のスキル向上が確認できた。さらにデバイスドライバプログラミング等を含めたシステム開発についての、受講生の印象の改善も確認された。このようにして、提案教材の有効性が示された。受講した 14 名のうちの幾人かが将来職業訓練指導員とし

て職業訓練施設で活躍する事を考えると、提案教材の波及効果は決して小さくないと思われる。

今後の課題としては、受講生のより高いスキル向上効果を目指した教材、教授方法の改善が挙げられる。さらに、提案教材を発展させた指導員研修用の教材開発も、今後の課題である。各地の職業訓練指導員が、研修という形で本研究で開発した教材の使い方および同種の教材開発の方法を習得し、実際の訓練現場で使用する事による波及効果は大きいと期待出来る。

9. 謝辞

本研究でのデータ収集に関連して、組込みシステム構築実習を受講した職業大総合課程電子情報専攻 3 年生 14 名に深く感謝する。

参考文献

- [1] 職業大ホームページ(2016), <http://www.uitec.jeed.or.jp/>
- [2] 任天堂ホームページ(2016), http://www.nintendo.co.jp/wii/features/wii_remote.html
- [3] Moodle ホームページ(2016), <https://moodle.org/>
- [4] 堀田忠義, 秋葉将和, 寺内美奈, 菅野恒雄, “総合課程 3 年生のための Linux デバイスドライバ開発教育用教材”, 職業大フォーラム講演論文集, pp.130-131, 2015
- [5] 独立行政法人 高齢・障害・求職者雇用支援機構(2016), <http://www.jeed.or.jp/>
- [6] TETRAS ホームページ(2016), <http://www.tetras.uitec.jeed.or.jp/>
- [7] 日昇テクノロジーホームページ(2016), <http://www.csun.co.jp/>