

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 28 日現在

機関番号：53301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350218

研究課題名(和文) プロジェクト型演習のためのソフトウェア無線環境の利用と教育素材の開発

研究課題名(英文) Educational materials development for project-based learning utilizing software defined radio

研究代表者

山田 洋士 (YAMADA, Yoji)

石川工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：10230492

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：ソフトウェア無線環境 GNU Radioを利用し、プロジェクト型演習(PBL)科目を実施するために必要となる教材開発と教育実践を行った。実装の困難性などから、技術系の学生であっても、無線信号処理に関する詳細について興味・関心を持ちにくい状況がある。この状況を改善するために、PBL科目において、ソフトウェア無線環境を用いてシステムを構築する課題を設定し、機械・電気・情報系学科出身の学生が演習に取り組む教育実践と、それを実現するための環境整備を実施した。実際に無線信号を扱うことから、多様な課題設定が可能である。その結果、幅広い分野の技術者の育成が期待できるPBL科目を設定可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：In this project, a new learning method to improve students' motivation by utilizing an open-source software defined radio toolkit through project based learning (PBL) has been developed. Software defined radio technology enables the use of radio signals up to gigahertz by using popular Linux machine. The use of real radio signals requires wide range of knowledge and skills. By using this new learning scheme, students implemented their own specified wireless applications during the PBL. These applications include radio signal processing, antennas, amplifiers, sensors, apparatus and printed circuit board designs. It is shown that, this learning scheme is raising the capabilities of engineering students.

研究分野：信号処理

キーワード：プロジェクト型演習 ソフトウェア無線 信号処理 教材開発 GNU Radio オープンソース

### 1. 研究開始当初の背景

無線通信機能や各種のセンサを内蔵したスマートフォンに代表される小型携帯端末は、アイデアに富んだソフトウェアとの組み合わせにより、社会や産業のあり方を変えるほどの波及効果をもたらしている。

このことは技術のブラックボックス化を引き起こし、学校教育で学ぶべき基礎的内容と現実社会での技術の普及・進展状況との間に大きな乖離を生じさせるため、学生が基礎的技術を学ぶ意欲を持ちにくい状況をもたらしている。

### 2. 研究の目的

この問題を緩和する教育手法の一つとして、ソフトウェア無線環境を利用したプロジェクト型科目の実施を提案する。報告者は、Linux マシン上で動作するソフトウェア無線を実現するためのオープンソースの信号処理モジュール集である GNU Radio と、GNU Radio と組み合わせて利用できる周辺ハードウェアである Ettus Research 社の USRP (universal software radio peripheral) を用いたプロジェクト型教育に関する予備的な経験を有している。

本研究課題では、プロジェクト型科目においてソフトウェア無線環境を用いてシステムを構築する課題を設定し、複数年にわたり実施を行う。これにより、学生がプロジェクト型科目でどの程度の成果物を計画・実現できるかを把握・評価し、プロジェクト科目として実現するためにどのような予備知識や教材を整備すべきかを明らかにすることを目指している。

### 3. 研究の方法

#### (1) 教育素材の開発

使用予定のソフトウェア無線環境で動作するサンプルプログラム集などを開発する。これらは、例えば以下の内容からなる。

USRP の基本構成の説明文書  
基本的な変復調処理を行うサンプルプログラムの準備  
バイナリファイルを利用してソフトウェア無線環境とデータの受け渡しを行うサンプルプログラムの準備

これらの教育素材の整備により、受講学生が円滑に演習を開始できる効果が期待できる。

#### (2) 導入教育のための説明資料や練習問題集の作成

プロジェクト型演習においては、動く「物」を作ることによって学生が熱心に取り組む例が多い。その反面、基礎的な技術内容などの把握がおろそかになるきらいがある。これを避けるため、基礎的技術内容に関する導入講義を実施する。申請者が実施するプロジェクト型

演習では、機械・電気および電子情報系分野の専門分野が異なる学生がチームを組んで、週あたり 400 分×15 週の期間に亘り演習を行う。演習を意味のある内容とするためには、適切な内容の導入講義を実施することが必要である。たとえば、下記の内容について説明資料や適切な問題集を準備する。

アナログ/デジタル変復調・無線信号処理 (信号処理)  
アナログフィルタ、抵抗減衰器、信号分配器、マイクロ・ストリップライン、リターン・ロス・ブリッジ、アンテナ等の試作・調整 (伝送線路・整合・アンテナ) 帯域制限などに必要となるデジタルフィルタに関する資料

#### (3) 演習実施をサポートする機材・設備の整備

校内での実習実施を支援する技術職員等からの支援も受け、プロジェクト型演習実施をサポートするために必要となる、下記の事項の整備を行う。

回路部品等の測定を行うことができる測定機材の準備  
送信信号のスプリアスの測定を可能とする機材の準備  
開発チーム内での進捗状況や情報共有のための Web ページなどの運用 (情報処理)  
チップ部品などの半田付け用機材や治具の準備 (実装技術)  
基板加工機 (既設)、プリント基板 CAD ソフトの取り扱いマニュアルの整備 (加工技術)  
工具や加工機の利用講習・安全講習体制の実施 (安全確保)

以上の準備により、機械・電気・電子情報系学科など幅広い学科の学生に対応した演習課題の設定を可能にすることを目指す。

### 4. 研究成果

#### (1) プロジェクト型演習実施のための Web ページの開発

複数の学生がグループを組んでプロジェクト型演習を実施する際には、様々な資料を提示したり、活動状況を見える化し、プロジェクトの成果を次年度以降に引き継ぐことを可能とする仕組みが必要である。

このため、使用費用が安価なレンタルサーバを活用し、プロジェクト実施のための Web サーバを開設した。この Web ページは、国立情報学研究所で開発された contents management system (CMS) である NetCommons を利用して構築し、以下の機能を実装した。

情報を公開・掲示する機能  
ログインしたメンバーだけに情報を提

示する機能

登録したユーザ間でのみ情報を共有できるグループページ

グループの活動記録を時系列でブログのように記入する活動記録ページ

研究室運営のためのデータ共有機能

通信用デジタルフィルタの設計機能

プロジェクト参加学生には、1週間ごとに活動内容の記入を求めた。また、使用したファイル、作成した文書ファイル、各種の報告書の文書ファイルなどは、すべてこのWebページへの登録を課した。



図1 プロジェクトWebページ  
<http://dsp.jpn.org/>

## (2)教育素材の開発

研究方法に示した資料を作成し、これらはプロジェクトWebページですべて受講者に提示した。

## (3)導入教育のための説明資料や練習問題の作成

導入講義のために、以下の資料を作成し、Webページで呈示した。

フーリエ変換の基本定理に関する講義資料

基本的な変調・復調に関する講義資料

直交変調や信号点配置に関する講義資料

ロールオフフィルタ、アップサンプル、アイパターンに関する講義資料

誤り率の計算に関する講義資料

既存のデジタル信号処理の講義で使っている講義資料

抵抗減衰器やマイクロストリップラインなどに関する資料は、すでに公開されている各種のWebページなどを閲覧することでも対応可能と考え、それらを活用させていただくこととした。

## (4)機材・設備の整備

プロジェクト演習実施に必要なとなる以下

の機材を整備した。

USRP 及び拡張ドータボード

ベクトルネットワークアナライザ

LCR メータ

基板加工機の使用手順書(技術職員が作成)

基板加工機使用の安全講習(技術職員が実施)

広帯域デジタルオシロスコープ

上記に加え、既設のスペクトラムアナライザも活用する。

## (5)プロジェクト演習での成果例

プロジェクト演習で取り組んだ内容のうち、2015年度の受講者のレポートから、いくつかの成果例を以下に示す。

測定用アパラス(図2)

基板加工機を用いて両面基板を加工し、基板の厚み(1.6mm)を利用してチップ抵抗を立体的に実装することで、抵抗減衰器を実現した。その結果、10MHz から 3GHz までの周波数帯においてリターンロス 30[dB]を実現した。

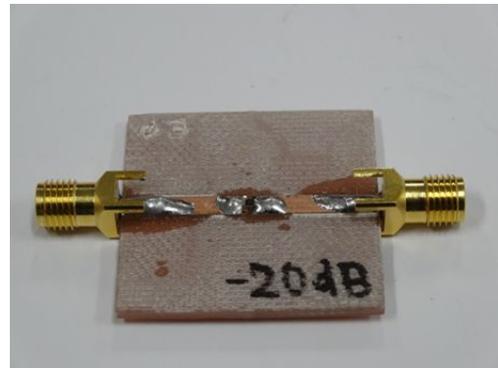


図2 マイクロストリップラインを用いた抵抗減衰器の実装例

## 重畳信号分離の試み

2種類の条件下で、周波数 10MHz の信号を重畳した信号を生成し、ASK 変調で送信し、それを受信した信号から 2 信号を分離する試みを行った。この試みは、近距離で利用者間の属性情報を送受信する応用を想定している。

M 系列を用いアップサンプル比を増大することで、伝送した情報のビット正解率が向上していく実測結果を図3に示す。

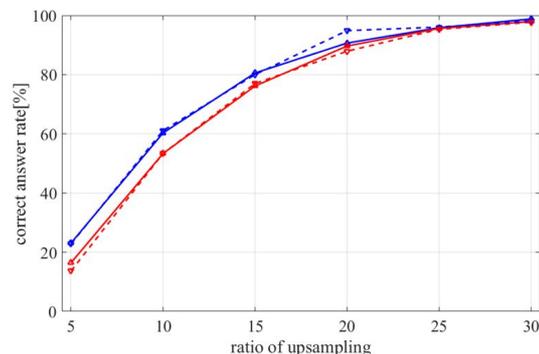


図3 ビット正解率のデータ例

ただし、機材や電波法などの観点から、電波としての伝送距離は、机上の近距離であり、かなり限定的である。

限定的であっても、このようなデータを実信号に対して測定する機会を得たことは、参加学生にとって意義のあることと考えている。

指向性を緩和した距離測定用アンテナアンテナ配列を工夫することで、アンテナ指向性のヌルポイントの落ち込みを改善した例を、図4に示す。アンテナとプリアンプを受講学生が自作している。

新規性が認められることから詳細は割愛するが、アンテナを回転したときの指向性によるゲインの変化約30[dB]を、約11[dB]に抑えることが可能であることを示すデータが得られた。

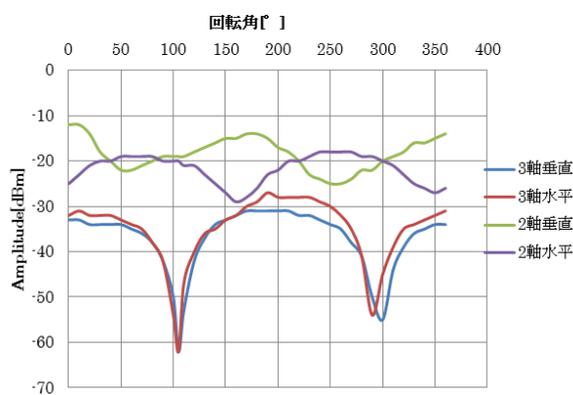


図4 回転角に対するアンテナ指向性の改善結果の例

このプロジェクト型学習の実施を通じて、参加学生は、以下のスキルを要求された。

無線信号処理手順の理解と実装

アンテナの設計と調整・実装

各種の測定方法とその結果が示す内容の理解

高周波増幅器の設計・製作・特性測定

整合の概念と測定を通じての理解

適切なコネクタ・電子部品類の型番の調査と発注

基板加工機（基板用フライス盤）による基板加工

測定用アパラタスの設計・製作

電波法規・スプリアスの規程などの理解  
Web ページの実装

多種多様な能力が必要とされる点で、電気・電子・情報・機械系の学生の能力開発につながるプロジェクト型学習を実施することができたと考えている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

関沢 洋斗, 山田 洋土, GNU Radio/USRP を用いた変調信号発生器の性能評価, 石川工業高等専門学校紀要, 査読無, 第47号, pp.13-24, 2015

〔学会発表〕(計5件)

福島 開人, 山田 洋土, GNU Radio を用いた有無線伝送路特性測定 of 検討, 第22回北陸地区学生による研究発表会, 2016年3月8日, 石川工業高等専門学校(石川県・津幡町)

山田 洋土, ソフトウェア無線環境を利用した信号処理教育事例, 長岡・豊橋・高専機構 三機関信号処理研究集会, 2014年12月4日, 長岡技術科学大学(新潟県・長岡市)

Y. Yamada and M. Iwahashi, Educational Materials Development for Project-based Learning Utilizing GNU Radio, International Symposium on Advances in Technology Education, 2014年9月25日, シンガポール(シンガポール共和国)

関沢 洋斗, 山田 洋土, GNU Radio/USRP のスプリアス性能評価, 平成25年度電気関係学会北陸支部連合大会, 2013年9月21日, 金沢大学(石川県・金沢市)

山田 洋土, ソフトウェア無線環境を利用したプロジェクト型演習に関する取り組み, 電子情報通信学会 信越支部講演会(招待講演), 2013年8月7日, 長岡技術科学大学(新潟県・長岡市)

〔その他〕

石川高専 山田洋土研究室ホームページ

<http://dsp.jpn.org/>

プロジェクト演習における情報共有ページである。公開情報と、非公開情報(石川工業高等専門学校の必修科目の一つであるプロジェクト型演習科目受講学生がログインして参照)の2種類のコンテンツが掲載されている。演習プロジェクトの進捗管理ページを兼ねており、受講学生の活動記録がブログ形式の日誌として記録されている。

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 洋土 (YAMADA, Yoji)

石川工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号: 10230492

(2) 連携研究者

貴家 仁志 (KIYA, Hitoshi)

首都大学東京・システムデザイン学部・教授

研究者番号: 40157110