

小型ヘリコプタを用いた 制御および画像処理工学の導入教育教材の開発

大澤 茂治*・大根田 浩久*・ラホック サム アン**・尾崎 功一***

Development of Educational Material for Introductory Education of Control Engineering and Image Processing using Small Helicopter

Shigeji Osawa*, Hirohisa Oneda*,
Rahok Sam Ann** and Koichi Ozaki***

Abstract

This paper describes development of educational material for introductory education of control engineering and image processing engineering using small helicopter. This material is designed based on the category A and R of the ARCS model. First, we let students manually operate a small helicopter (category A). Next, we make students observe an autonomous tracking of a color object by the small helicopter (category R). In order to confirm effectiveness of our material, an evaluation experiment was conducted on forty three students. The experiment result showed that our material can motivate students to learn control engineering and image processing.

1. はじめに

近年、制御だけではなく画像処理を用いた機器の開発が多く行われるようになってきた。例えば、自動車の衝突回避機能が挙げられる。これは、自動車を安全に走行させるため、カメラを用い画像処理を行い、その結果を制御情報として利用した機能である^{[1],[2]}。また、工場内の製品搬送用のロボットにおいて、画像処理および制御を複合的に組み合わせている例も挙げられる^[3]。さらに、製品の検査装置においても画像処理および制御が使用されている^[4]。このような背景から、制御工学と画像処理工学の両方の知識を有する人材が求められている。

しかしながら、制御工学も画像処理工学も習得には長い時間を要するため、途中で習得を諦めてしまう人が多いだけでなく、初めからこの分野の習得を避ける人も存在する。したがって、本格的に学習を始める前の段階、つまり、導入教育の段階において、「おもしろそう」、「やってみたい」という意欲を喚起することが重要だと考える。そこで本研究は、導入教育の段階

において、制御工学と画像処理工学の両方に対して意欲を喚起できる魅力ある教材の開発を目的とした。

魅力ある教材開発のため、ARCS 動機づけモデル (以降、ARCS モデルと呼ぶ)^[5] が有効であるということが、情報メディア教育の分野において報告されている^[6]。情報メディアの分野以外に ARCS モデルを適用した教材例として、シーケンス制御に適用した教材^[7] や、搭乗型ロボットを用いた PID 制御に適用した教材^[8]などが報告されており、その有効性が示されている。これらの教材は、制御工学を対象としているが、画像処理工学は対象としていない。また、機材の製作費用がかかるということもある。

そこで本研究は、教材をゼロから製作するのではなく、既存の比較的安価な製品を用い、ARCS モデルの適用を検討し、改造することにより画像処理工学と制御工学用の教材を開発することとした。用いる製品としてカメラが付いており、動作をプログラミングでき、かつ、操作して楽しいと感じられる小型ヘリコプタ (AR.Drone) に着目した。これに画像処理および制御を使用した機能を開発、導入し、教材として用いる。

*電子機械工学科

**小山工業高等専門学校電気電子創造工学科

***宇都宮大学大学院工学研究科

開発した機能は、画像処理により特定の色の物体を抽出し、代表的な制御である PID 制御を用いて、自動追跡を行うものである。

本稿では、小型ヘリコプタ（以降、小型ヘリ）を用い、ARCS モデルに基づいた制御工学および画像処理工学の導入教育用の教材の開発とその効果について報告する。

2. 小型ヘリコプタを用いた ARCS モデルに基づく教材の検討

2. 1 ARCS モデルおよび教材の概要

ARCS モデルは、学習に対する動機づけを、A 要素 (Attention), R 要素 (Relevance), C 要素 (Confidence), S 要素 (Satisfaction) の 4 つの要素に分類したモデルである^[5]。A 要素は、「おもしろそう」などの注意、関心を引くことに関する要素であり、R 要素は、「やりがいがありそう」という学習目標に関連する要素である。そして、C 要素は、「やればできそう」という自信に関する要素であり、S 要素は次への意欲につながる「やってよかった」という満足感に関する要素となっている。本研究では、「おもしろそう」、「やってみたい」という意欲を喚起することを目的としている。本稿では、まず、これに関連する ARCS モデルの A 要素、R 要素を適用することを考える。

2. 2 A 要素の検討

本教材を通じて、「おもしろそう」という感覚を喚起させる方法について述べる。まず、学習者に小型ヘリを操作させる。操作インターフェースは、飛行機ゲーム用のジョイスティックを用いる。そして、カメラ画像を PC などに写し、これを見ながら操作する。操作は、自由に行わせるのではなく、赤い紙などのような特定の物体を追跡するように行わせる。小型ヘリの操作は、飛んでいるため難しく、特定物体の追跡はさらに難しくなる。この操作の難しさから、手動での操作の難しさを実感し、自動での操作、つまり、制御の重要性を認識することができる。また、画像を見ながら操作を行わせることにより、画像処理を意識させる。学習者は小型ヘリを PC に表示したカメラ画像を見ながら、ジョイスティックで操作することにより、実際にヘリコプタを操縦しているような感覚で操作することができるため、楽しく操作できると考える。実際に、宇都宮大学工学部のオープンキャンパスにおいて、106 人の高校生に対して、操作体験デモンストレーションを行い、おもしろさを 5 段階で評価するアンケートを実施したところ、96%にあたる 102 人が最大の評価で

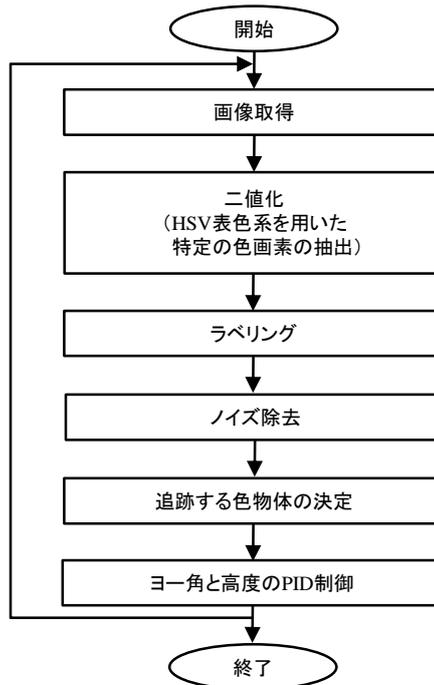


図 1 画像処理による色物体追跡の流れ

ある「おもしろい」と回答した。このことから、学習者の「おもしろそう」という感覚を強く引き出すことが期待できる。

2. 3 R 要素の検討

本教材を通じて、「やりがいがありそう」という感覚を喚起させる方法について述べる。前節で述べた手動操作の後、小型ヘリのカメラから取得される画像を処理し、自動で制御を行うデモンストレーションを学習者に見てもらう。自動制御のデモンストレーションは、手動で行った特定の色の物体の追跡を自動で行う内容とする。これにより難しかった手動での操作が、画像処理による自動制御により簡単に行えることを学習者は理解することができる。学習者は、習得する画像処理と制御がどのように使用されるかを知ることができるため、習得した知識の利用を想像しやすくなり、やりがいを持つことができると考える。なお、自動制御による色物体追跡の詳細は第 3 章で述べる。

3. 小型ヘリによる自動色物体追跡

3. 1 処理の概要と流れ

画像処理による自動制御として、色物体を追跡する方法について述べる。まず、特定の色の物体を小型ヘリの前で動かし、小型ヘリのカメラで画像を取得し、その画像を PC へ送る。PC 上で画像処理を行い、物体の中心を検出する。その物体中心が画像中心になるよ

うに小型ヘリへ制御命令を送り、動作させる。処理の流れを図1に示す。用いる画像処理は、基本的なもののみとした。

画像処理は、まず、取得した画像を二値化する。二値化は、特定の色を持つ画素を 1、それ以外を 0 とする処理である。二値化に用いた方法については、第3.2節において述べる。次にラベリングという、画素の塊を1つの物体として扱えるようにするための処理を行う。このとき、画素数と画素の塊の中心位置の算出も同時に行う。次に、小さい画素の塊をノイズとして除去する処理を行う。そして、ある程度の画素数を持つものの中で、最大のものを追跡する色の物体とする。最後に、物体の中心位置から、ヨー角と高度をPID制御を用いて、物体が画像の中心になるように制御する（第3.3節参照）。

3.2 色画素の抽出

特定の色を持つ画素を抽出する方法は多く存在するが、パラメータ設定を容易できる HSV 表色系を用いた方法を採用した。また、HSV 表色系は実用例も多く、例えば、人間の肌の検出^{[9][10]}や、果物の検出^[11]、道路標識の検出^[12]などに使用されている。

HSV 表色系は、画素値の R, G, B 値を色として表す体系であり、式(1)~(3)より H, S, V に変換される。

$$H = \begin{cases} 60 \times \frac{(G - B)}{MAX - MIN}, & \text{if } MAX = R \\ 60 \times \frac{(B - R)}{MAX - MIN} + 120, & \text{if } MAX = G \\ 60 \times \frac{(G - B)}{MAX - MIN} + 240, & \text{if } MAX = B \end{cases} \quad (1)$$

$$S = \frac{MAX - MIN}{MAX} \quad (2)$$

$$V = MAX \quad (3)$$

H は、赤や青などの色の種類を示す「色相」を意味し、0 から 360 の角度として表される。S は鮮やかさを示す「彩度」を意味し、0 から 1 で表される。V は明度を意味し、これも 0 から 1 で表される。本研究では、色を扱っていること、パラメータ設定を容易にすることから、V を除いた H と S のみを用いた HS 色度座標を用いた。図2に HS 色度座標を示す。例えば、

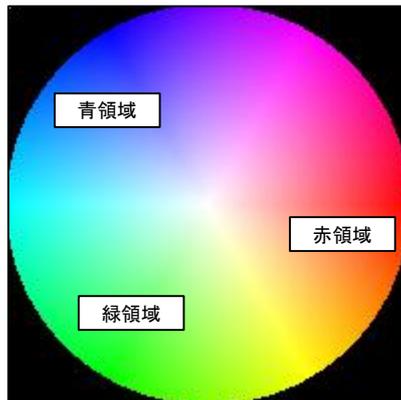


図2 HS 色度座標

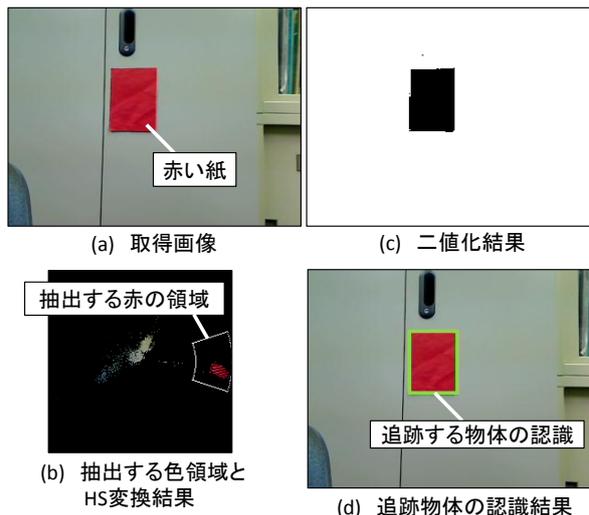


図3 画像処理結果の例

赤の画素を抽出したい場合、H を-30(実際には330)から30, S を0.5から1の領域を設定し、この領域に対応する画素を抽出すれば良い。

図3に例として赤の紙を画像処理した結果を示す。(a)は取得画像、(b)は取得画像をHS色度座標に変換した結果と抽出する画素の色範囲を示している。(c)は、二値化の結果であり、赤色の画素は黒、その他は白で示している。(d)は追跡物体として認識した結果の画像である。

3.3 ヨー角と高度のPID制御

ヨー角と高度の制御にPID制御を用いる。一般的にPID制御は、tを時間、出力である制御量をy(t)、入力である偏差をe(t)とすると、式(4)で表される。K_pは比例ゲイン、K_iは積分ゲイン、K_dは微分ゲインである。

$$y(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$



図4 AR Drone の外観

4. 実験

4. 1 小型ヘリ

本研究で用いた小型ヘリについて述べる。用いた小型ヘリは、パロット社製 AR.Drone である（正確には 4 枚の回転翼を有するため、クアッドヘリコプタであるが、本稿では、一般的な用語として「ヘリコプタ」を用いることとする）。価格は、バッテリーを含め 3 万円未満で購入可能である。図 4 に外観を示す。AR.Drone は、カメラの他に、超音波センサやジャイロスコープなどを搭載しており、カメラからの画像を見ながら、高度やロール、ピッチ、ヨー角を操作することができる。ピッチ角を操作することにより前後の移動を行い、ロール角を操作することにより左右の移動を行う。そして、ヨー角を操作することにより、その場での左右回転を行うことができる。

通常、AR.Drone は iPhone や iPad など Wi-Fi により、無線で操作するが、PC で操作することも可能である。PC での操作、プログラミングを行うためには、ソフトウェアライブラリ (AR.Drone SDK) が必要であるが、これは無償で提供されている。そして、操作用のインターフェースとして、飛行機のゲーム用として使用されているジョイスティック (CYBORG 社製, F.L.Y) を用いた。ジョイスティックの外観と操作方法を図 5 に示す。ジョイスティックでの操作は、学習者が直感的に操作できるようにプログラムを行った。ジョイスティックを前側に倒すと、AR.Drone は前進し、後ろに倒すと後進する。同様に左右に倒すと左右に移動する。また、ジョイスティックを左右にひねることにより、その場での左右回転を行うことができる。また、ジョイスティック上端にあるホイールを回すことにより、高度を調整することができる。ホイールを上に戻すことにより、上昇し、下に回すことにより下降する。

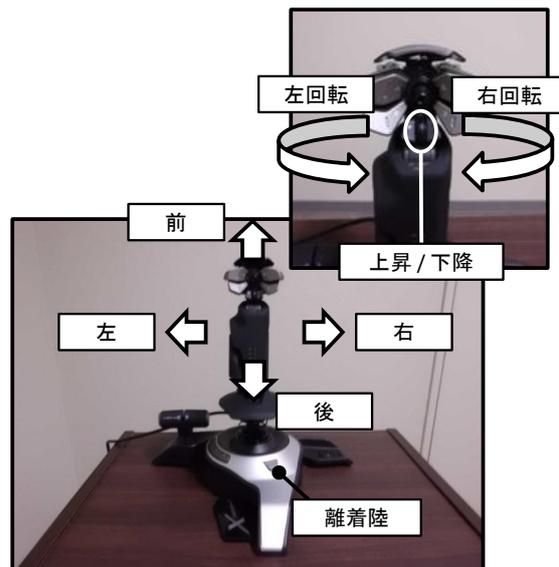


図5 ジョイスティックの外観と操作

4. 2 実験方法

本教材の効果を確認するため、制御工学および画像処理工学を学んでいない弓削商船高等専門学校の平成 26 年度の電子機械工学科 1 年生、43 人を実験協力者とし、アンケートを実施する。実験手順について説明する。次のような流れで実験を行う。

- (1) 制御と画像処理について具体的な使用例を挙げ、簡単に説明を行う（学生は制御および画像処理について知識がないため）。
- (2) 小型ヘリの操作方法について説明する。
- (3) 対象者に PC のディスプレイに写った小型ヘリのカメラ画像を確認しながら、赤い色紙を追跡するように小型ヘリを操作させる（1 分程度）。
- (4) 自動追跡機能を実行し、赤い色紙を自動追跡させ、学生にこれを観察してもらう。
- (5) アンケートを記入してもらう。

実験手順の (1) は対象者全員に対して、講義と同じように同時に説明し、実験手順の (2) 以降は個別に実施する。

本実験において用いたアンケートを表 1 に示す。アンケートは、制御と画像処理で言葉を変えただけの質問をそれぞれ 4 項目 (a1~4, b1~4) とその他として 2 項目 (c1, c2) の合計 10 項目の質問とした。この質問に対する回答は、「よくあてはまる」、「あてはまる」、「どちらでもない」、「あてはまらない」、「全くあてはまらない」の 5 段階とした。

表1 アンケート

制御に関するアンケート	
a1.	制御に興味がありましたか？
a2.	講義の後、制御に関する興味・関心は高くなりましたか？
a3.	制御をもっと知りたいですか？
a4.	制御を使用した機械を作ってみたいですか？
画像処理に関するアンケート	
b1.	画像処理に興味がありましたか？
b2.	講義の後、画像処理に関する興味・関心は高くなりましたか？
b3.	画像処理をもっと知りたいですか？
b4.	画像処理を使用した機械を作ってみたいですか？
その他のアンケート	
c1.	本講義は楽しかったですか？
c2.	コメント等がありましたら、記入して下さい。

4. 3 実験結果

制御に関するアンケート結果を図6に、画像処理に関するアンケート結果を図7に示す。結果はパーセンテージで示し、質問内容を簡潔に左側に記載した。また、その他のアンケートのc1.の結果は、「よくあてはまる」が47%、「あてはまる」が42%、「どちらでもない」が9%、「あてはまらない」が2%、「全くあてはまらない」が0%であり、多くの学生が楽しく本講義を受けたようである。さらに、c2のコメントを記入してくれた学生は37%であった。コメントは、「楽しかった」のような感覚的なコメントの他に、「もっと制御のことにについて知りたい」、「画像処理を使ったロボットなどを見てみたい」、「もう少し詳しく知りたい」など意欲的なコメントもあった。

4. 4 制御に関する結果の考察

図6から制御に関する結果について考察する。実験を行う前に制御に興味を持っていた学生は70%と高いことがわかった。これは、学生が電子機械工学科であり、制御に関係する学科であるためだと考えられる。そして、講義後、制御に対して興味・関心が高くなった、もっと知りたい、機械を作ってみたいと回答した学生は、それぞれ、72%、86%、82%であり、制御に対して多くの学生が意欲的になっていることを示す結果が得られた。これは、本教材が学生の制御工学への学習意欲を喚起させていることを示す結果だと考えられる。

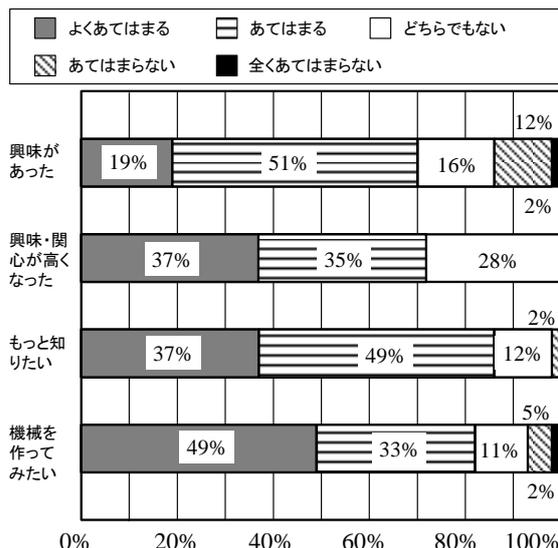


図6 制御に関するアンケート結果

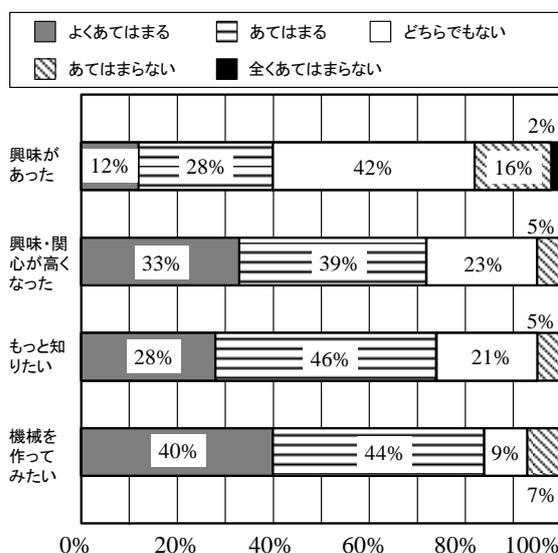


図7 画像処理に関するアンケート結果

また、制御に対して興味・関心が高くなった、もっと知りたいということは、注意・関心を喚起した結果だと考えられ、A要素の動機づけがうまくいった結果だと考える。さらに、制御を使用した機械を作りたいと多くの学生が回答したことは、制御と機械を関連させ目標を想像していることであり、R要素の動機づけがうまくいったことを示した結果だといえる。

4. 5 画像処理に関する結果の考察

図7から制御と同様に画像処理に関する結果について考察する。実験を行う前に画像処理に興味を持っていた学生は40%であった。よくあてはまると回答した対象者は、僅か12%のみであり、興味はあまり高くなかったことがわかる。しかし、講義後、興味・関心が

高くなった, もっと知りたい, 機械を作ってみたいと回答した学生は, それぞれ 72%, 74%, 84%であり, 高い興味を最初から持っていた制御と近い, 良い結果が得られた. 多くの学生が講義後, 画像処理に対して意欲的になっていることを示す結果であり, 本教材が学生の画像処理工学への学習意欲を喚起させていることを示す結果だといえる.

また, 制御と同様に, 画像処理においても回答結果から, A 要素, R 要素においても動機づけが, うまくいっていることを示す結果が得られた.

4. 6 制御と画像処理の結果を複合した考察

本節では, 制御および画像処理に対する結果を複合的に考察する. アンケート結果において, 制御および画像処理の両方に「よくあてはまる」, 「あてはまる」を選択した学生の割合を求めた. 割合は, 興味があったかの質問に対しては 40%, 興味・関心が高くなったかの質問に対しては 65%, もっと知りたいかの質問に対しては 70%, 機械を作りたいかの質問に対しては 74%の学生が「よくあてはまる」, 「あてはまる」を選択した. この結果から, 講義前, 興味があった学生はあまり多くなかったが, 講義後, 意欲が向上している学生が多いことがわかる. つまり, 本教材が制御と画像処理, 個別に意欲を喚起させるだけではなく, 両方に対する学習意欲を喚起させるのにも効果があることを示している.

5. おわりに

本稿では, 導入教育段階における ARCS モデルの A 要素と R 要素に基づいた制御および画像処理用の教材を開発した. 教材には, コストが比較的安く, 操作して楽しく, 動作をプログラミングできる小型ヘリを用い, 操作がより楽しくなるように改造を行った. 更に制御と画像処理を組み合わせることにより, 色物体の自動追跡機能を開発し, 教材に導入した. 本教材の効果を確認するため, 制御および画像処理の講義を受けていない学生を対象とした実験を行った. 実験結果から, 本教材は, 制御および画像処理, それぞれに対して個別に意欲を喚起するだけではなく, 両方に対しても同時に意欲を喚起する効果があることを確認した.

参考文献

- [1] 日立オートモティブシステムズ株式会社: 走行制御システム <http://www.hitachi-automotive.co.jp/products/dcs/index.html>
- [2] 富士重工株式会社, 運転支援システム EyeSight, Web ページ, <http://www.subaru.jp/eyesight/digest/>
- [3] 関淳也, 青山元, 石川和良, 石村佐緒里, 和田迫鉄矢, 足立佳儀, 薩見雄一, 横田和隆, 尾崎功一, 山本純雄: 視覚によるライン・トレースと磁気タグの併用による走行制御を用いた搬送ロボットの開発, 日本ロボット学会誌, 27-8, pp833-841, 2009.
- [4] 大澤茂治, 風間晋吾, 嘉藤俊介, 渡邊信一, 尾崎功一, 石川洋平, 田中稔, 並木俊郎, 諏訪芳久, 廣瀬晃: 画像処理による円筒形状製品の傷検査装置の開発, 精密工学会誌, 76-8, pp955-959, 2010.
- [5] John M. Keller: Development and Use of the ARCS Model of Instructional Design, Journal of Instructional Development, 10-03, pp.2-10, 1987.
- [6] 鈴木克明: 「魅力ある教材」設計・開発の枠組みについて —ARCS 動機づけモデルを中心に—, 教育メディア研究, 1-1, pp50-61, 1995.
- [7] 稲守栄, 千田和範, 野口孝文, 荒井誠, 小清水誠: モジュール構造を取り入れた学生実験用シーケンス制御学習教材の開発と評価, 工学教育, 54-4, pp.21-26, 2006.
- [8] 田崎隆男, 渡邊信一, 鹿内佳人, 尾崎功一: 体感に基づくメカトロニクス教育のための制御教材の開発, 工学教育, 58-4, pp.98-102, 2010.
- [9] 黒田勉, 渡辺富夫: HSV 表現法に基づく顔画像の唇抽出法, 日本機械学会論文集 (C 編), 61-592, 4724-4729, 1995.
- [10] Leonid Sigal, Stan Sclaroff and Vassilis Athitsos: Skin Color-Based Video Segmentation under Time-Varying Illumination, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 26-6, pp.862-877, 2004.
- [11] S.Arivazhagan, R.Newlin Shebiah, S.Selva Nidhyandhan and L.Ganesan: "Fruit Recognition using Color and Texture Features", Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences, 1-2, pp.90-94, 2010.
- [12] Usman Zakir, Iffat Zafar, and Eran A. Edirisinghe: "Road Sign Detection and Recognition by Using Local Energy based Shape Histogram (LESH)", International Journal of Image Processing, 4-6, pp.567-583, 2011.