

# 植物の擬人化システムの開発

野呂耕平<sup>†1</sup> ピトヨ ハルトノ<sup>†1</sup>

**概要:** 本研究では、植物と人間の間により心理的に親密な関係を構築できるシステムの開発を試みる。本研究は犬や猫といったペットを世話することに比べて、植物の世話が比較的容易であるが、人間との心理的な親密さが生まれにくいという事実に着目した。この要因は、植物が人間に直感的に知覚されるような「表情」を持たないことにある。そこで、本研究では、植物の環境状態をコンピュータエージェントの表情やジェスチャーに対応付けることで、植物を擬人化するシステムを構築する。このエージェントを介して人間が植物を擬人化し、人間と植物の新しい関係を生成できることを期待する。本論文では、提案するシステムの構造を詳述するとともに、初期実験の結果について報告する。

## 1. はじめに

一般社団法人ペットフード協会[1]は 2023 年時点で、日本では 9.10%の世帯が犬を飼育し(6844 千頭)、8.69%の世帯が猫を飼育している(9069 千頭)。その背景には、犬や猫が人々に心理的な癒しを与え、精神的な安らぎをもたらす存在であることが挙げられる。犬や猫は表情や仕草を通じて感情を伝え、人間と接することができる。その結果、飼い主は犬や猫を擬人化しやすく、家族の一員として捉える。一方、ペットを飼育することには高い費用や手間が伴い、世話が行き届かなくなることで放置されるケースも少なくない。それに対し、植物の飼育は比較的簡単であり、費用や手間もペットに比べて低いが、心理的な繋がりにおいては弱い。その理由として、植物は動物のように人間が直感的に解釈できる表情や仕草を行わないため、心理的なつながりを形成しにくい。また、植物は声を出したり動き回ったりすることができないため、存在感や相互作用が希薄であり、人間と植物との関係は一方的な世話に留まる。本研究では、植物の擬人化を実現するシステムの構築を試みる。人間にとって植物を犬や猫のように家族の一員と捉えることができれば、比較的低い労力で犬や猫との共同生活と同じ精神効果を得ることができると考える。これにより、犬や猫を飼育することが難しい一人世帯や高齢者の暮らしの質の向上にもつながる。

Nass[2]らは、コンピュータや仮想エージェントの人工物を擬人化することで、それに接する人間はより高い社会的な振舞いを示すことができると指摘する。本研究はこの考えを植物に拡張する。植物を擬人化することで、人間が植物と新しい関係を築けると考える。

DiSalvo[3]らは、人が植物に対して情緒的な反応を示すかを調査した結果、インターフェースのデザイン次第で植物が「生きた存在」として認識されやすくなることを示した。本研究では、植物を擬人化することで、その効果を高める

ことができると考える。

Kuribayashi[4]らは「Plant Display」と呼ばれるシステムを通じて、観葉植物にセンサーを組み込み、植物が周囲の環境の変化をユーザーに視覚的に伝えるシステムを提案した。この研究は植物と人間の新しい関係の確立の意味では本研究と共通している。しかし、この研究では植物をアンビエントディスプレイとして用いることに対して、我々の提案では植物の状態を仮想エージェントの感情として表現することで擬人化をするので、この二つの研究は大きく異なる。

本研究の特徴として、植物の状態を仮想的なキャラクターの表情と動きとして視覚化することで、ユーザーは、あたかも植物とコミュニケーションができると感じる。これにより、次のような利点が得られる。(1)キャラクターの表情と仕草を通じて植物状況を直感的に把握でき、擬人化がしやすい。(2)人間との共感的な相互作用の強化。表情は人間が他者の感情を理解する際に直感的に利用する情報である。植物に表情を持たせることで、ユーザーはより「植物との共感」を感じやすくなり、愛着もわき、持続的な関係を築ける。

## 2. 関連研究

寺田[5]らは、植物が単なる受動的な存在ではなく、環境をモニタリングし、自ら行動する能動的な存在として機能する点を指摘した。植物は水や光を求めて自律的に移動し、人間に協力を求めることができるため、従来のロボットや静的な人工物の概念を拡張し、植物を用い、人間と共存するインタラクティブなシステムの可能性を示唆した。また、[5]の研究では、センサーを用いて土壌水分、光量、温度などの環境データを測定し、これらのデータを植物の最適な育成条件と比較することで、植物の健康状態を評価した。本研究では、植物を擬人化することで人間と植物のコミュニケーションのインタラクティブ性の向上を図る。

既存の植物擬人化システム[5]では、植物が求めるもの（水分や光などの欲求状態）を、主に音声や位置移動を通じてユーザーに伝えられた。しかし、この手法では、植物の欲求や状態を表現するための手段が限られ、人間の想像力が制限されるため、植物との心理的なつながりを形成しにくいと考える。一方、本研究は、植物の状態を表情として視覚的に表現することで、ユーザーと植物の間に感情的なつながりを生み出すことを重視している。この点において、心理的な共感や愛着を促進するインターフェースの提供を目的とする点で[5]の研究と相違がある。

本研究では、植物の擬人化キャラクターを通じた情報伝達がユーザーに与える心理的影響を明らかにするためには評価手法が必要となる。Bartneck[6]らの研究では、ヒューマン・ロボット・インタラクション(HRI)における擬人化、生物性、好感度、知覚知性、知覚安全性といった主要な概念を評価するため、リッカート尺度と意味差異尺度を用いた標準化された質問票を開発し、その信頼性および妥当性を実証している。この質問票は、ロボットとの相互作用に対するユーザーの印象を定量的に測定するための基盤となり、HRI分野の評価方法論において重要な役割を果たしている。

一方、本研究は、植物の状態を評価し、従来[6]のロボットに対する評価とは異なり、植物の状態を基に擬人化キャラクターの表情を生成し、そのキャラクターに対するユーザーの印象や反応を測定する点に新規性がある。また、ユーザーが植物の擬人化キャラクターの表情に対して抱く印象を詳細に評価するため、リッカート尺度と意味差異尺度を用いてデータを収集、分析している。

さらに、本研究では、得られた評価スコアを統計的に解析し、標準偏差やスコア分布に基づくクラスタリング手法を適用することで、ユーザーの反応を細分化して分析している。これにより、植物の擬人化表現がユーザーの感情や行動にどのような影響を与えるかを明確にし、新たな評価手法を行う。以上の点で、本研究は植物との感情的なつながりを促進する新しい視点を提供するものである。

### 3. 擬人化システムの構成

本研究では、温度、湿度、照度、土壌水分量、電気伝導度、電圧、pH値の環境パラメータを特徴量とし、植物の状態の良し悪しを評価し、仮想の擬人化エージェントの表情として表現する。本研究では識別機として、ランダムフォレスト[7]を用い、上で述べた特徴量を持つ入力、5つの感情に分類をする。5が最も良く、4が良い、3が通常、2が悪く、1が最も悪い状態を表す。その感情を計算機上のキャラクターの表情にリアルタイムで反映し、植物の状態を直感的に把握できるように人間に伝える。たとえば、土壌の水分量が不足している場合、キャラクターは悲しげな表

情を示し、水が

十分であれば満足そうな表情を見せる。人間はこのキャラクターを通じて植物の状態を認識し、必要なケアを施すことで、植物とのインタラクションが生まれる。

本システムは、環境データを取得するセンサーモジュール、データを処理、識別を行うランダムフォレストモデル、評価結果を表情に変換するキャラクター表示モジュールの3つの要素から構成される。これにより、植物の状態を擬人化したキャラクターで表現し、人間と植物の新たなインタラクションを実現する。

システム構成を以下の図1に示す。

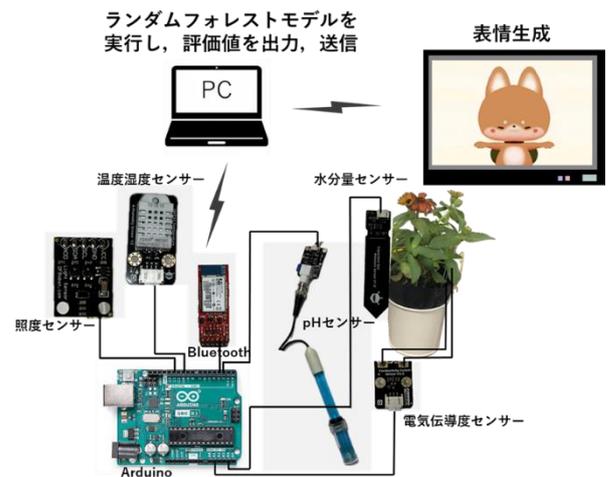


図1 本システム構成

温度湿度値、照度値、水分量値、電気伝導度、及びpH値をセンサーで取得し、マイコンArduinoを経由し、30分間隔でBluetoothを通して計算機に送る。

次に、取得したデータにラベル付けを行う。ラベル付けの際には、理想的な環境条件との乖離に基づいて5段階評価を行う。具体的には、各センサーの測定値と理想値の誤差率を計算し、その誤差率に応じて評価値を割り当てる。誤差率が小さいほど高い評価を与える仕組みである。 $i$ 番目の評価値 $E^i$ は以下の式によって決定される。

$v^i$ は $i$ 番目の特徴量の測定値であり、 $d^i$ は $i$ 番目の特徴量の理想値である。

$$error^i = \frac{1}{d^i} |v^i - d^i| \times 100$$

$$E^i = \begin{cases} 5 & (error^i \leq 5) \\ 4 & (5 < error^i \leq 10) \\ 3 & (10 < error^i \leq 15) \\ 2 & (15 < error^i \leq 20) \\ 1 & (error^i > 20) \end{cases} \quad (1)$$

このラベル付きデータを用いて、ランダムフォレストの学習を行い、学習後、それを識別機として用い、キャラク

ターの表情と関連付ける。

ランダムフォレストとキャラクターの表情の関連付けの概要を図2に示す。

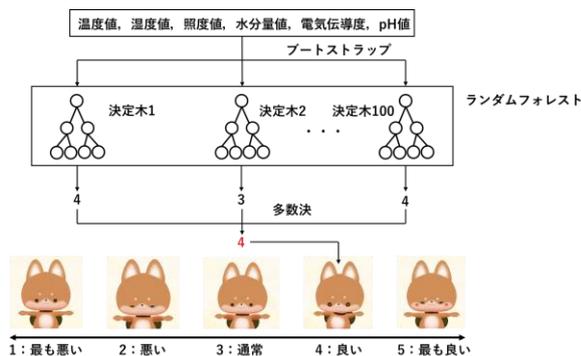


図2 ランダムフォレストとキャラクターの表情

### 3.1 ランダムフォレスト

ランダムフォレストは、ブートストラップ法とランダム特徴選択を組み合わせたアンサンブル学習手法である。ランダムフォレストは複数の決定木から構築し、それらの予測結果を統合することで、精度と汎化性能を向上させる。以下に、ランダムフォレストの基本的な構成を数学的に説明する。はじめに、ブートストラップ法である、学習データ  $D$  のサンプルサイズを  $N$  とし、ランダムフォレストでは、各決定木に対して、データセット  $D$  から無作為復元抽出により  $L$  個目のサブセット  $D^L$  を生成する。

$$D^L = \{(x_1^L, y_1^L), (x_2^L, y_2^L), \dots, (x_{N^L}^L, y_{N^L}^L)\} \quad (2)$$

式(2)では  $x_{N^L}^L$  を  $L$  番目のデータサイズ  $N$  の学習データとし、 $y_{N^L}^L$  を  $L$  番目のデータサイズ  $N$  の学習ラベルとする。

つぎにランダム特徴選択では、各決定木の分岐基準を決定する際、 $m$  を各木に用いる特徴量の数を式(3)で求める。ここでは、 $F$  を全特徴量の数とする。

$$m = \lceil \sqrt{|F|} \rceil \quad (3)$$

本研究では  $F = 6$  である。予測の統合では、ランダムフォレストの特徴量  $L$  に関する評価値  $\hat{y}^L$  は、式(4)に示す  $K$  個目の決定木の多数決によって行われる。

$$\hat{y}^L = \text{vote}(h_1(x^L), h_2(x^L), \dots, h_K(x^L)) \quad (4)$$

植物の最終的な評価は式(5)で行い、この値によってキャラクターの表情を決定する。

$$\hat{y} = \frac{1}{K} \sum_{L=1}^K \hat{y}^L \quad (5)$$

## 4. 実験

本実験では、植物擬人化システムの各環境値を取得する初期実験と実際にキャラクターの表情をディスプレイ上に投影する評価実験を行った。評価実験では被験者にアンケートを回答してもらい、評価を行った。

初期実験では図1のセンサー類からPCへの通信までを行う。また、評価実験では、図1の通り、外部ディスプレイ上に表情生成を行い、投影する。

### 4.1 初期実験

初期実験では、搭載したセンサーの正常動作を確認するために、1時間ごとに計測を行った。この実験では、温度、湿度、照度などの各センサーが設定通りにデータを取得できるかを検証した。各センサーがデータを出力することを確認することで、環境データが適切に取得されていることを保証する。24時間にわたる実験結果を図3に示す。

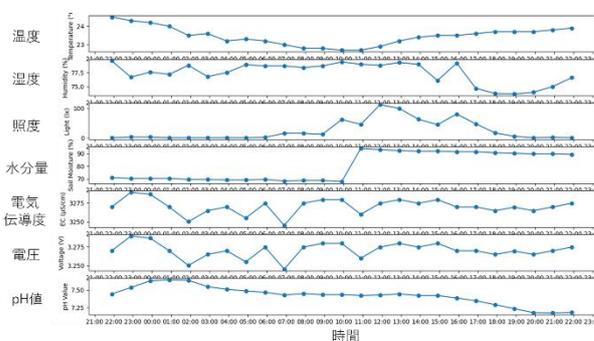


図3 24時間の環境要素値

図3より実験の結果、各センサーが正常動作を確認できた。温度に関しては、朝方にかけて低くなり、夕方にかけて上がっていくことが観察された。湿度に関しては、高い湿度を保っていることが観察された。照度に関しては、日が昇る8時から高くなり、日が落ちる17時あたりから低くなるのが観察された。水分量に関しては、水やりを行った10時あたりで急激に値が上昇する傾向が観察された。電気伝導度に関しては、適正值である  $3.25[\mu\text{S}/\text{cm}]$  付近であることを観察された。電圧値も電気伝導度と同様に  $3.25[\text{V}]$  付近であることを観察された。pH値に関しては、時間が経つにつれ水素イオンを放出することにより下がる様子が観察された。

### 4.2 評価実験

評価実験において、30分間隔で測定を行い、センサーでとらえた植物の状況に応じて、キャラクターをディスプレイで表示する。実験時、植物は屋外にあり、被験者は別の屋内でディスプレイ上のキャラクターの表情の変化を随時観察することができる。実験では、被験者数は10人であ

り、観察期間は、10月23日午前7時30分時点での気温は23.0°C、湿度は59%から同日午後7時30分には気温が26.8°C、湿度が67%までの期間での観察および評価を行った。観察後、アンケート調査を実施した。

被験者が本システムを使用する様子を以下の図4に示す。



図4 ユーザー実験様子

### 4.3 評価方法

評価方法では、被験者が本システムを使用した際の使用感や、本システムの目的とする植物の親しみやすさ向上に関する効果を中心に検証する。具体的には、Google Formsを用いたアンケートを通じて被験者からの回答を収集し、リッカート尺度を用いて定量的な評価を行う。各質問に対する被験者の評価は、1（強く否定）から5（強く肯定）までの5段階のリッカート尺度で記録される。このデータをもとに統計的手法で分析を行い、被験者の使用感や植物に対する親近感がどの程度向上したかを客観的に評価する。以下にGoogle Formsで使用する質問内容を示す。

1. この植物キャラクターは、感情を持っているように感じる。
2. この植物キャラクターには共感できる。
3. この植物キャラクターの外見は、親しみやすい。
4. この植物キャラクターは、行動が自然に見える。
5. この植物キャラクターのデザインは魅力的である。
6. この植物キャラクターの動きは、人間的である。
7. この植物キャラクターは、インスピレーションを与えてくれる。
8. この植物キャラクターは、植物の健康状態を表現するのに十分であると感じる。
9. この植物キャラクターは、植物と人間の関係をより親しみやすいものに変えると感じる。
10. この植物キャラクターは、植物を擬人化していると感じるか。

以下の評価基準を用いて回答する。

- 1：全くそう思わない
- 2：あまりそう思わない
- 3：どちらでもない
- 4：そう思う
- 5：強くそう思う

上記の回答結果を用いて10人の被験者による10項目の質問に対する評価データを基に、評価データのクラスタリングを行った。被験者ごとの回答パターンを分析し、類似した評価傾向を示すグループを特定するため、K-means [8]を用いた。また、可視化するために10次元の評価データを2次元に次元圧縮した。次元圧縮には主成分分析（PCA: Principal Component Analysis） [9]を使用した。

その結果、データの主な変動要因に基づく主要な軸が導出され、評価者ごとの位置関係を可視化することが可能となる。得られた2次元のPCAスコアを用いて散布図を作成し、クラスターごとに色分けして表示した。散布図における評価者の近接性は、類似した回答傾向を示していることを意味し、同様の評価パターンを持つ評価者を視覚的に識別することができる。

評価実験結果では、10月23日午前7時30分時点での気温は23.0°C、湿度は59%から同日午後7時30分には気温が26.8°C、湿度が67%までの期間での観察および評価を行った。観察対象であるジニアの健康状態が良好な時点から劣化に至るまでの経過を記録した。

また、被験者はその期間の植物の変化に伴った表情の変化を観察した。

評価を行った実際の植物の経過図と表情図を図5として示す。

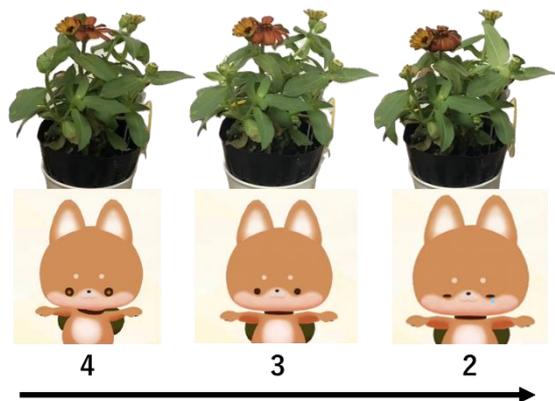


図5 植物の経過図と表情図

図5より評価値4のとき、10月23日午前7時30分時点での気温は23.0°C、湿度は59%であった。評価値3のとき、10月23日午後1時50分時点での気温は25.4°C、湿度は61%であった。評価値2のとき、10月23日午後7時30分

時点での気温は 26.8°C、湿度は 67%であった。評価値が良好な時点から劣化に至るまでの経過を記録した結果、植物の花びらの状態がしぼんでいく様子が観察された。以上の結果から、植物の状態と表情の変化の連携は非常に自然であり、期待通りの動作が確認された。これにより、植物の状態を視覚的に表現する仕組みが、環境変化を適切に反映し、観察者に直感的かつわかりやすく伝えることができることが示された。

また、被験者の評価を行った結果を定量的に考察する。本システムが植物の親しみやすさ向上に与える効果について有意な結果が得られた。被験者 10 名の評価スコアを集計したところ、ほとんどの質問項目において、リッカート尺度上の評価点が全体として肯定的な傾向を示した。例えば、質問「この植物キャラクターは、インスピレーションを与えてくれる。」に対する平均評価点は 4.27 であり、標準偏差は 0.45 であった。この結果は、本システムが植物への親近感を向上させる目的において一定の効果があることを示唆している。また、「この植物キャラクターは、植物を擬人化していると感じるか。」では平均評価点が 4.55 となり、標準偏差は 0.50 であった。植物の擬人化が被験者の親近感を形成する効果を持つことを示し、植物と人との関係性向上を目指す本研究の趣旨に合致した結果といえる。

10 人の被験者のアンケート結果を可視化したグラフを図 6 として示す。

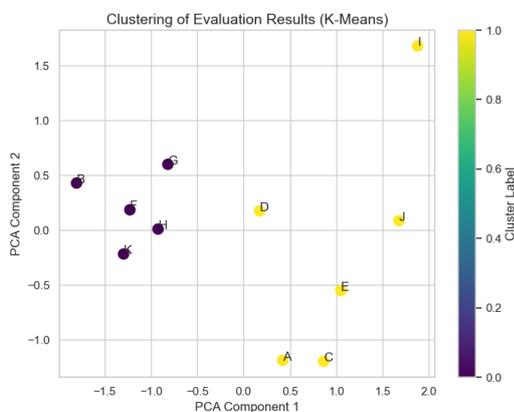


図 6 評価結果散布図

図 6 より紫色のクラスタには、被験者 B, F, G, H, K が属し、これらのデータは主成分 1 方向において負の値を示す傾向がある。これらのことから評価結果に基づいて 2 つのグループを識別することができ、特に、紫色のクラスタに属する被験者の評価パターンは、他のクラスタに比べて特定の評価基準に基づく均一性や安定性を持つ可能性がある。これにより、これらの被験者は特定の項目に対して評価が分散しにくい傾向があることが示唆される。一方、黄色のクラスタには、被験者 A, C, D, E, J が属し、主成分

1 方向に正の値を取る傾向が見られる。このクラスタに属する評価項目は、一部の評価基準において他の項目よりも高いスコアを示す傾向があることが考えられる。例えば、被験者 D や E が他の項目に比べて離れた位置にあることから、これらの項目が特定基準での高評価評価パターンを示している可能性がある。

この結果は、特定の評価項目が他の項目と異なる傾向を持つかどうかを理解する手がかりとなり、これにより、評価改善が必要な要素や、優れたパフォーマンスを示す項目の特定が可能になった。

今後の課題としては、クラスタ数の最適化や、さらなる特徴量の追加による精度向上が挙げられる。現在のクラスタ数は仮定に基づいて設定されているが、適切なクラスタ数を見極めることで、データの分類精度を向上させる可能性がある。また、現時点で使用している特徴量だけでは評価パターンを十分に捉えられない可能性があるため、さらなる特徴量を追加することで、クラスタ間の分離性を高め、より精度の高いクラスタリング結果を得られると考えられる。これらの課題に取り組むことで、本研究の結果の信頼性と解釈性が向上し、評価項目のパターンをより深く理解することが可能となる。

## 5. おわりに

本研究では、植物の擬人化をすることで人間と植物間の親密度を向上させることを目的とした。植物状態の可視化を可能とするシステムの開発を行った。以下に評価実験の考察を行う。

植物の状態を視覚的に表現し、その変化を直感的に理解できる仕組みを取り入れることで、植物への理解や興味が深まる結果が得られた。特に、植物をより身近な存在として認識する傾向が観察され、親密度の向上に一定の効果が確認された。

しかし、評価を通じて、視覚的な要素が果たす役割をさらに最適化する必要性が明らかとなった。現在のシステムでは、評価項目の分類とその表現方法に改善の余地があり、ユーザーに対するフィードバックが必ずしも十分に直感的ではない可能性が示唆された。Rodriguez[10]らは、視覚的表現とシステムの信頼性が評価結果に与える影響について議論し、評価項目間の違いを容易に認識できることがシステムの有効性向上に寄与すると指摘している。本研究でも同様に、評価項目間のパターンをさらに明確化し、視覚的表現を洗練することが重要な課題となる。

今後は、視覚的表現の多様性を拡大し、異なる評価項目に対応する柔軟なフィードバックシステムを構築することで、植物と人間との関係性を深化させるとともに、幅広いユーザー層に対応可能なシステムの発展を目指す。

## 参考文献

- [1] 一般社団法人ペットフード協会, “主要指標サマリー”, 2023.
- [2] C. Nass and Y. Moon, “Machines and mindlessness: Social responses to computers.”, *Journal of Social Issues*, Vol.56 no.1 pp.81-103 2000.
- [3] C. DiSalvo, et al., “The hug: an exploration of robotic form for intimate communication.”, *The 12th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, 2003. *Proceedings. ROMAN 2003. IEEE*, pp.403-408 2003.
- [4] S. Kuribayashi and A. Wakita., “Plant Display: turning houseplants into ambient display.”, *Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, pp.40-es 2006.
- [5] 寺田和憲, et al., “植物擬人化システム.”, *国立情報学研究所*, Vol.18 no.3 pp.1457-1458 2000年09月12日.
- [6] C. Bartneck, D. Kulic, E. Croft and S. Zoghbi, “Measurement Instruments for the Anthropomorphism, Animacy, Likeability, Perceived Intelligence, and Perceived Safety of Robots.”, *International Journal of Social Robotics*, Vol.1 pp.71-81 2009.
- [7] Rigatti, Steven J., “Random Forest.”, *Journal of Insurance Medicine*, Vol.47 no.1 pp.31-39 2017.
- [8] G. Hamerly, C. Elkan, “Learning the k in k-means.”, *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol.16 2003.
- [9] S. Karamizadeh, Shahidan M. Abdullah, Azizah A. Manaf, M. Zamani and A. Hooman, “An Overview of Principal Component Analysis.”, *Journal of Signal and Information Processing*, Vol.4 no.3 pp.173-175 2013.
- [10] Rodriguez, Mayra Z., et al., “Clustering algorithms: A comparative approach.”, *PloS ONE*, Vol.14 no.1 2019.