

| | |
|----------------|---|
| 氏 名 | むすたふあ すれいまん さりふ Mustafa Suleiman Salihu |
| 本籍（国籍） | ナイジェリア |
| 学位の種類 | 博士(工学) |
| 学位記番号 | 工博 第303号 |
| 学位授与年月日 | 令和元年9月25日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第5条第1項該当 課程博士 |
| 研究科及び専攻 | 工学研究科電気電子・情報システム工学専攻 |
| 学位論文 題目 | Computer-Aided Diagnosis of Lesion in Surface Tissue Photographs Using Image Processing and Machine Learning (画像処理と機械学習を用いた表面組織写真における病変のコンピュータ支援診断) |
| 学位審査委員 | 主査 教授 西山 清 副査 教授 萩原 義裕 副査 准教授 木村 彰男 |

論文内容の要旨

Surface tissue cancers such as melanoma skin cancer and cervix cancer are deadly for humans and now rapidly increasing around the world. Like most cancers, early detection is vital to improving the chances of survival of those affected. However, a very small percentage of affected people have access to adequate and early screening particularly in developing countries. For this reason, it is desired for those countries to establish simple inexpensive inspection methods in detecting cancers.

As these cancers occur mainly on the body tissues, it is not so difficult to take a photo of affected parts in comparison with taking screening inspection. Therefore, computer aided diagnoses using macro-images should be able to assist medical personnel in identifying melanoma and cervix cancer. This thesis proposes a novel computer-aided diagnosis system from plain photographic images of surface tissue cancers using image processing and machine learning.

The organization of this thesis is as follows.

Chapter 1 introduces the background of the research, declares the research motivation and objectives, reviews related works and the structure of the dissertation is presented.

In Chapter 2, melanoma recognition system from obtained plain

photographic images is presented. In the system, segmentation of the affected parts is achieved by GrabCut technique, which is well-known as an effective image segmentation method. In the case of melanoma, post processing using morphological operations and mean shift filtering performed with median blurring is used to enhance the segmented image. By applying proper image processing techniques to the segmented region some features are derived based on the ABCDE's rule of melanoma detection (Asymmetry, Borders, Color, Diameter and Evolving). Then the extracted features are ranked by sequential backward selection (SBS) technique, and a few useful and important features that can be sufficient to detect melanoma are determined. Finally, the system categorizes the image as cancerous or non-cancerous using the determined features and support vector machine with Gaussian radial basis kernel (SVM-RBF). Experimental results show that only a few numbers of useful features are sufficient to classify melanoma.

Chapter 3 presents further enhanced performance of melanoma classification with majority voting-based ensemble classification model combined with three and five useful machine learning algorithms. Experiments using ensemble methods show that slight improvements can be achieved with such techniques. The objective evaluation of the GrabCut segmentation of the affected melanoma parts is also presented.

In Chapter 4, cervix cancer is investigated by proposing a semi-automated system for detection from cervigram images of affected regions. This is a simple inexpensive test by visual inspection with acetic acid (VIA), where the cervix region is observed with the naked eye for change in color, texture and appearance. Capturing images during such VIA test and applying adequate image processing techniques to the image is effective to assist gynecologist for detecting, diagnosing and examining the cervix region based on the visual inspection observations. Following this, a computer-aided system for detecting and diagnosing cervical cancers is proposed. Our approach first segments the region of interest from the cervigram images by GrabCut algorithm to eliminate the medical equipment and background lesions. Using appropriate image processing techniques, both color and texture features are extracted from the region based on VIA. The extracted features are ranked using (SBS) based on consistency and correlation, and the most useful and important ones are selected. Applying ensemble classification method, it is found through statistical analysis that small number of extracted features can be sufficient to detect cervix cancer. Results achieved show that the detection accuracy is improved compared to visual eye inspection

performed by medical professionals. Furthermore, the objective evaluation of the GrabCut segmentation of the affected cervix cancer parts is also presented.

Chapter 5 presents further enhanced performance by applying a learning method based on Convolutional Neural Network (CNN) for identifying cervical cancer. With carefully selecting the network parameters and applying regularization to reduce the effect of over-fitting, our model is evaluated. From results obtained, it is demonstrated that CNN-based learning can potentially improve accuracy and assist in detecting cancerous from non-cancerous macro-images.

Chapter 6 concludes the thesis and presents recommendations for future research.

論文審査結果の要旨

メラノーマ（黒色腫）皮膚癌および子宮頸癌などの体の組織表面に現れる癌は、人間にとって致命的であり、世界中で急速に増加している。多くの癌と同様に、生存可能性を上げるためにはその早期発見が不可欠である。しかしながら、特に開発途上国では、早期の段階で細胞レベルの異常を発見するための適切なスクリーニング検査を受診できる人はごく少数である。このため、これらの国々においては、簡単かつ安価な検査で癌を検出できる方法を確立させることが望まれている。

これらの癌は主に体の組織に発生するので、患部の写真を撮ること自体はスクリーニング検査を受けることに比べればそれほど難しくはない。したがって、メラノーマおよび子宮頸癌を識別する、という点において、顕微鏡画像でない、マクロ画像を使用したコンピュータ支援診断でも、医療従事者への何らかの助けとなるはずである。このような視点から、本論文は、組織表面癌の写真画像から画像処理と機械学習に基づいて診断支援を行うようなシステムを新たに提案している。

第1章では、研究背景、研究動機、研究の目的などが述べられている。特に、マクロ画像を利用した診断支援の研究例は多くなく、用いられた症例画像も少数であり、達成された検出精度は現状ではそれほど高くないことが述べられている（メラノーマ：約73.4~93.6%，子宮頸癌：約65.1~82.5%）。

第2章では、200枚ほどの症例写真サンプルを利用した、画像処理と機械学習によるメラノーマ識別・検出システムが新たに提案されている。はじめに、従来からよく知られる GrabCut によって罹患部のセグメンテーションが行われるが、メラノーマ領域を強調するには、モルフォロジー演算、メディアン値ぼかしに基づいた平均シフトフィルタリング等の後処理が有効であることが実験的に示されて

いる。そして、この領域分割された画像から、医師が実際の診断時に利用する ABCD ルール (Asymmetry:非対称性, Border:境界線, Color:色, Diameter:直径) に倣って、16 種類の画像特徴が適切な画像処理技術によって抽出される。これらの特徴を、順次後方選択法 (SBS: Sequential Backward Selection) によってランク付けし、そして、メラノーマを検出するために必要十分と考えられる上位の有用な特徴を決めている。最終的には、上位特徴をサポートベクトルマシンで学習することで癌 (悪性) か、非癌 (良性) かを識別するが、評価実験では、僅か 6 種類の画像特徴のみで 85%を超える正確度でメラノーマを識別できることが示されている。このように、画像の病変部を切り出すための (前処理や後処理を含んだ) 効果的なセグメンテーション法を開発し、さらに、セグメンテーション画像から抽出された 6 種類の画像特徴がメラノーマ識別に有効であることを見出した点は高く評価できる。

第 3 章では、3 つまたは 5 つの機械学習アルゴリズムを組み合わせた、多数決投票ベースの集団学習 (アンサンブル) によって、メラノーマの識別性能をさらに向上させる方法が述べられている。評価実験によって、識別の正確度が 87%程度まで改善されたことが示されており、加えて、前章で提案されたセグメンテーション法が実際のメラノーマ領域をどの程度正しく分割できているか、という客観的評価も提示している。

第 4 章は、子宮頸癌に話題が移され、患部画像から子宮頸癌を検出するための効率的な手法が新たに提案されている。子宮頸癌の場合、酢酸塗布による目視検査 (VIA: Visual Inspection with Acetic acid) という安価な簡易テスト法があり、そこでは色、模様、外観変化などが肉眼で観察され、経験豊富な婦人科医であれば 45~79%程度の正確度で子宮頸癌を識別できると言われている。この VIA テスト中に画像を撮影することは容易であるため、本論文ではこのマクロ画像を利用する形の診断支援システムに着目している。研究を進めるにあたり、事前に米国の国立がん研究所 (NCI) と協定を結び、NCI から 10,000 枚以上の症例画像の提供を受け、そのうち 3,600 枚を超える画像が本論文で利用されている。これは、従来研究ではほぼ見られない程多い枚数といえる。提案システムでは、メラノーマの場合と同様にはじめに GrabCut によって頸部画像から関心領域のみをセグメンテーションするが、その際、GrabCut に必要な前景と背景の指定を、ほぼ自動で実施できるような工夫が施されている。次に、切り出された関心領域画像から、VIA テストに倣って“色”と“テクスチャ”の両方に関する 44 種類の特徴が適切な画像処理技術によって抽出され、それらが SBS によってランク付けされた後に最も有用と思われる上位の少数が特定されている。最終的に、子宮頸癌を識別・検出するには僅か 10~13 種類の画像特徴だけをアンサンブル学習すれば十分であることが評価実験によって示されており、およそ 83%の識別正確度が達成されている。これは、通常の VIA による目視検査を上回るほどの高い精度であり、その成果は極めて高く評価できる。

第5章では、子宮頸癌検出のさらなる改善を目的として、Convolutional Neural Network (CNN) に基づいた学習方法の適用が検討されているが、正確度の劇的な改善をもたらすことはできなかった。ただし、評価実験結果から、CNN ベースの学習法は、特に、良性の画像を誤って悪性と検出することが少ない、ということが実証されている。

第6章では、結論とともに、今後の課題や展望が述べられている。

以上、本論文は、メラノーマ皮膚癌や子宮頸癌などの病変診断において、画像処理と機械学習によるアプローチが早期発見の支援となり得ることを立証し、さらに、どのような画像特徴が癌検出に有効かを工学的な視点から新たに特定したという意味で、電気電子・情報システム工学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。

原著論文名（1編を記載）

An Ensemble Approach to Precancerous Cervical Lesion Classification from Cervigram Images, Suleiman MUSTAFA, Akio KIMURA, IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing, (Vol.7, No.1, pp.24-35) 2019年6月