

論文の内容の要旨（和訳）

論文題目 「Study on Caries Detection from Dental Panoramic Radiographs using Deep Learning」

（深層学習を用いた歯科パノラマレントゲン画像からのう蝕歯検出に関する研究）

学位申請者 Bui Huy Toan

キーワード：う蝕、パノラマレントゲン画像、一歯分離、深層学習、画像処理

う蝕は、世界中で何十億もの人々に影響を及ぼしている最も有名な疾患の一つである。ほとんどの人が歯の痛み、口臭のような少なくとも1つまたはいくつかの症状を経験し、最終的には歯を除去するに至る場合もある。う蝕の程度を評価する方法は数多くあるが、その中でも歯科医師に多く用いられているのはC0、C1、C2、C3、C4という段階分けである。C0は健康な歯を意味する。C1～C4はう蝕の段階を示し、治療計画に役立てられる。特に発展途上国においては、歯科衛生士や歯科医師が不足しておりう蝕の適切な診断が受けられないこと、そのために症状が重くなり治療のために経済的な負担が大きくなること等の問題もある。そこで本研究では、歯科医師を支援するためのう蝕歯の検出支援システムを提案することを目的とする。

コンピュータ支援診断（CAD）は、人工知能とコンピュータサイエンスの一分野である。CADの目的は、入力された医療データに関して、データを解釈し、人間の意思決定を支援できるような適切な出力を行うことである。技術の進歩に伴い、CADは利便性と性能の面で向上してきた。そのため、これまで医師が行っていたさまざまな作業をCADが支援できるようになると考えられる。現在、画像処理技術と機械学習アルゴリズムの組み合わせは、特定のタスクを実行するようプログラムされることなく学習することで複雑さを部分的に軽減しつつ、要件に基づいた効果的な結果を提供できるため、多くのコンピュータビジョンの研究においてさまざまな問題を解決するために好んで使用されている。機械学習では、パターン認識の問題解決に広く用いられているニューラルネットワークがよく知られている。ニューラルネットワークは構成が単純で、汎化能力に優れ、予期せぬパターンに対応できることが多い。そのため、本研究では、ニューラルネットワークに基づく画像処理と深層学習をCADの主要な手法として適用する。

多くの研究者がこの研究に取り組んでいるが、その大半は、非常に複雑で膨大なリソースを必要とし、計算負荷も大きいか、あるいは過度に単純化され、十分な結果を出すことができていない。そこで本研究では、各要素の利点を生かしつつ、最も複雑なプロセスを合理化

する方法を提案する。この CAD システムは、主に「一歯分離」と「う蝕歯の検出」の 2 つのプロセスからなる。まず、一歯分離では、YOLOv3 モデルを使用してパノラレントゲン画像から各歯の位置を検出する。元の口腔内パノラレントゲン画像はリサイズされ、YOLOv3 に供給され、後のう蝕歯検出のために有用ないくつかの個々の歯の画像に分割される。これにより、CAD 利用時の歯科医師や看護師の負担を軽減し、診断のスピードアップに貢献する。一方、う蝕歯の検出においては、自動一歯分離の誤差の影響を避け検出性能を正しく評価するために、まずは人為的に一歯分離した画像を用いた評価を行った。歯の画像は深層畳み込みニューラルネットワークに供給され、う蝕歯診断に利用される。幾何学と Resnet50、Xception、VGG16、...などの事前に学習された深層学習モデルの 2 種類の情報を用いて、画像から有用な特徴を抽出する。その後、その特徴は、決定木、naïve Bayes、k-nearest neighbor、サポートベクターマシンなどの他の機械学習モデルに与えられ、最終的な診断が行われる。一歯分離については、最終的に精度(precision) 95.58%、再現率(recall) 94.90%という結果が得られた。また、う蝕歯検出では、正答率(accuracy) 91.70%、感度(sensitivity) 90.43%、特異度(specificity) 92.67%という結果が得られた。この結果は、先行研究と比較して、より良い、あるいは同等である。最後に、う蝕歯検出システムの総合的な評価のために、一歯分離とう蝕歯検出を組み合わせ、自動一歯分離後にその結果を用い自動的にう蝕歯検出を行うシステムの評価を行った。その結果、正答率、感度、特異度、それぞれ 88.66%、88.14%、89.47%となり、人為的に一歯分離を行った場合に比べ若干低下した。しかし、一歯分離とう蝕歯検出を連続して行う自動う蝕歯検出システムは提案されておらず、その低減率も小さいことから、本研究における自動う蝕歯検出システムの提案と評価結果は歯科診断の分野で重要であり、歯科診断の分野に貢献するものである。

本研究の目的は、一歯分離およびう蝕歯検出の 2 点において十分に達成されたといえる。まず、口腔内パノラレントゲン画像において自動一歯分離技術を利用し、一歯毎に分離できる事が可能となった。その精度は高いレベルを示している。この結果は、この自動一歯分離のシステムが歯科医師にとって有益であり、実用的であることを示している。さらにこの方法には大きく改善される余地が残っており、今後さらに分離精度が向上することが期待される。う蝕歯検出性能は、その能力を正しく評価するために人為的に正確に一歯分離されたデータを用い検討された。その検出結果は、う蝕歯検出における先行研究の結果よりも良い結果を示している。一方、2 つの方法を組み合わせる自動化されたシステムでは、う蝕歯検出の結果をわずかに低下させる結果となった。しかし、この自動化システムは歯科診断の分野では新しい提案であり、低下幅も小さいので、本研究の提案は歯科診断の分野に十分貢献できると考えられる。問題点は自動一歯分離システムの分離精度向上である。分離精度が向上し、それに伴うう蝕歯検出の正確さも向上すれば、本手法は一般的に歯科医師の診断を支援するシステムとして理解、認識されるであろう。