

CCTA 画像の自動分類を目的とした DCNN の wide 化による性能比較

長谷川晃¹⁾、吉田皓文¹⁾、李鎔範²⁾

1) 新潟医療福祉大学 医療技術学部 診療放射線学科

2) 新潟大学大学院 保健学研究科

【背景・目的】 Coronary computed tomography angiography (CCTA) では冠動脈内の石灰化やステントが原因で冠動脈狭窄の陽性的中率が低下する問題がある。このため、石灰化やステントを正確に分類し、さらにそれらを含む冠動脈での狭窄の有無を正確に診断する診断支援システムの開発が望まれる。本研究は石灰化またはステントを有する冠動脈と通常の冠動脈の断面像を正確に自動分類することを目的とする。要素技術として用いる DCNN (deep convolutional neural network) の全結合層のユニット数と畳み込み層のフィルタ数を増やすこと (wide 化) による分類精度を比較した。

【方法】 対象画像は 49 症例の CCTA 画像から再構成した冠動脈の直交断面画像 72,051 枚 (石灰化群 13,035 枚、ステント群 14,382 枚、正常群 44,634 枚) である。これらの画像は冠動脈断面が画像の中心になるように 256×256 pixels にトリミングし、24 bit true color の bitmap 形式で保存した。

DCNN は一般画像で学習済みの VGG-16 を使用し、畳み込み層を 12 層、全結合層を 2 層増やした VGG-30 に変更した。全結合層 5 層すべてのユニット数を VGG-30 の 4096 から 16384 に増やし (FC-wide VGG-30)、さらに畳み込み層のフィルタ数を通常の倍にした Full-wide VGG-30 を構築した。VGG-30 のパラメータ数は 207,710,080、FC-Wide VGG-30 は 1,113,679,744、Full-wide VGG-30 は 1,770,360,576 である。

対象画像のうち 44 症例、64,846 枚 (石灰化群 11,732 枚、ステント群 12,944 枚、正常群 40,170 枚) を学習データに、5 症例、7,205 枚 (石灰化群 1,303 枚、ステント群 1,438 枚、正常群 4,464 枚) をテスト画像に使用した。

DCNN の学習係数は 10⁻³、バッチサイズは 4 とし、繰り返し学習回数である epoch 数は 1,000 で学習を行った。学習で行われた合計の計算回数は VGG-30 で 255 京回、FC-wide VGG-30 では 261 京回、Full-wide VGG-30 では 1024 京回である。

テスト用の 5 症例で hold-out 検証を行い、感度、陽性的中率 (positive predictive value; PPV)、感度と PPV のバランスを示す F score、および正診率を算出し、VGG-30、FC-wide VGG-30、Full-wide VGG-30 で比較した。

なお、本研究は新潟医療福祉大学倫理委員会、新潟大学倫理委員会、富山赤十字倫理委員会の承認を受け、関連する利益相反はない。

表 1 VGG-30、FC-wide VGG-30、Full-wide VGG-30 での分類における感度、陽性的中率 (PPV)、F score、および正診率の結果

		VGG-30	FC-wide VGG-30	Full-wide VGG-30
Sensitivity	Calcification	0.959	0.962	0.955
	Stent	0.993	0.997	0.971
PPV	Calcification	0.892	0.923	0.807
	Stent	0.981	0.991	0.962
F score	Calcification	0.924	0.942	0.875
	Stent	0.987	0.994	0.966
Accuracy		0.970	0.978	0.944

表 2 FC-wide VGG-30 での CCTA 画像の分類結果

		Output		
		Calcification	Stent	Normal
Input	Calcification	1254	9	40
	Stent	3	1434	1
	Normal	102	4	4358

【結果】 表 1 に VGG-30、FC-wide VGG-30、Full-wide VGG-30 での分類における感度、PPV、F score、および正診率の結果を示す。感度、PPV、F score はいずれも石灰化、ステントともに FC-wide VGG-30 が最も高かった。

表 2 に FC-wide VGG-30 における CCTA 画像の分類結果を示す。石灰化群は 1,303 枚中 1,254 枚、ステント群は 1,438 枚中 1,434 枚正しく分類した。

【考察】 DCNN の全結合層を wide 化したことで感度、陽性的中率、F score、および正診率が最も高くなったことから、全結合層の wide 化で分類器の性能が向上した。しかしながら、計算回数はさほど増加していないものの、パラメータ数が大幅に増加したことから、全結合層の wide 化でコンピュータのメモリ容量に負荷を与えることを考慮する必要がある。一方で、畳み込み層を wide 化したことで分類精度が低下した。その理由として、畳み込み層の wide 化による最大フィルタ数は 1024 であるが、学習画像は 256 階調であったため、類似した階調特徴データが多く発生し、分類に影響を与えたと考えられる。学習画像の保存形式を変更することで階調は変更できるため、今後、更に検討する。また、畳み込み層の wide 化によりパラメータ数では 1.6 倍、計算回数は 3.9 倍増加した。したがって畳み込み層の wide 化でコンピュータの演算時間が増加することを考慮する必要がある。

【結論】 全結合層の wide 化により、CCTA 画像での石灰化とステントの正確な分類が可能になった。一方で、畳み込み層の wide 化は、CCTA 画像の画像保存形式によって分類精度に影響を受けることが示唆された。