

유사도 분석 기반의 자동 뇌졸중 진단 알고리즘 개발

Development of Automated Stroke Diagnosis Algorithm based on Similarity Analysis

은성종¹, 권용만^{2*}

Sung-Jong Eun¹, Yongman Kwon^{2*}

요약

본 논문에서는 뇌졸중 진단을 위해 ASPECT 비율을 자동으로 계산하는 방법을 제안한다. 본 논문에서는 중추 신경계 중 하나인 뇌졸중을 진단하기 위해, CT영상 기반의 자동 분석 알고리즘을 제안한다. ASPECT 스코어의 결정은 질병의 중증도에 따라 분류 등급이 나누어진다. 등급의 분류는 총 11가지의 등급으로 나누며, 질환 중증도가 높을수록 낮은 ASPECT 스코어 점수로 산정되어 진다. 본 논문의 제안 방법은 검출된 회백질 영역을 기반으로, 뇌 좌우 영역의 상관 성보를 비교한다. 비교하고자 하는 상관 정보의 차이에 따라 ASPECT 스코어의 차이를 판단하는 방법을 제안한다. 제안 방법의 평가 결과 높은 정확성을 확인하였고, 기존의 방법에 비해 보다 단순화된 특징을 가지고 있어 효율성을 확인하였다.

핵심어 : 뇌졸중, ASPECT 비율, 상관성, 유사도 분석

Abstract

This paper proposes algorithm processing calculation of ASPECT score automatically for diagnosis of stroke. In this paper, we propose a CT image based automatic ASPECT score determination algorithm to diagnose stroke, one of central nervous system diseases. ASPECT score to be judged is classified grades and increases according to severity of the disease. Classification is divided into 11 grades. The higher the severity of disease, the lower the score of ASPECT score. The proposed method compares the correlation information of the left and right regions based on the detected gray matter regions. We propose the method to judge difference of ASPECT score according to difference of correlation information to be compared. This paper proposes an effective method featuring accuracy and simplicity.

Keyword : Stroke Diagnosis, ASPECT score, Correlation, Similarity Analysis

1 Health IT Research center, Gachon University Gil Medical Center, Incheon, Korea [Researcher]

e-mail: asclephios@naver.com

2 Department of Game Contents, Kimpo University, Gyeonggi-do, Korea [Professor]

e-mail: creonbiz@gmail.com (Corresponding Author)

* This research was supported by the Bio & Medical Technology Development Program of the National Research Foundation (NRF) funded by the Ministry of Science & ICT(2017M3A9E2072689).

Received(February 1, 2019), Review Result(1st: February 16, 2019), Accepted(March 08, 2019), Published(March 31, 2019)

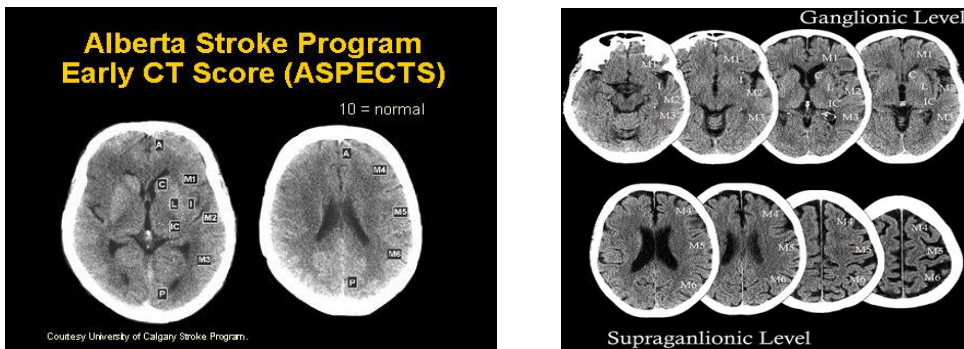
1. 서론

본 논문은 환자의 뇌졸중 진단을 위해 임상이에 의해 산정되어지는 ASPECT 스코어를 자동으로 계산해주는 알고리즘을 제안한다. 보통 임상이에 의해 수동으로 환자의 전체 CT영상의 점수를 책정하여, 0~10단계의 등급으로 결과를 도출한다. 해당 방법의 자동화를 위해 기존 IT기반의 영상 분석 기술의 시도는 많이 있었으나, 무거운 처리 방법으로 효율적인 방법은 부족한 실정이었다. 본 논문에서는 중추신경계 중 하나인 뇌졸중의 자동 진단을 위해 CT영상의 유사도 분석 기반의 ASPECT 스코어 책정 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 크게 유사도 분석을 위한 영역 경계 추출, 추출된 회질 영역의 좌, 우 상관성 분석, 분석된 상관성 정보의 등급 결정의 3단계로 처리되어진다. 해당 과정에 대한 상세 내용은 각 장에서 설명하도록 한다.

2. 관련 연구

2.1 임상 관점에서의 ASPECT 스코어 분석 연구

임상 의료에서의 전방 순환에서 혈관 폐색으로 인한 급성 허혈성 뇌졸중(Acute Ischemic Stroke(AIS)에서의 효과적인 치료법으로 Mechanical thrombectomy (MT) 방법이 입증되어 오고 있다.



[그림 1] ASPECT 스코어의 개념

[Fig. 1] The Concept of ASPECTS Score

그중에 2000년 Barber 등은 Alberta Stroke Program Early CT Score[1]를 발표하였으며, 해당 방법을 통해 환자의 뇌졸중 상태를 보다 객관적이고 정량적인 단계로 분류할 수 있게 되었다. ASPECTS는 중간 대뇌 동맥의 면적을 미리 정의된 10개의 해부학적 영역으로 나누고 비조영 전산화 단층 촬영(non-contrast computed tomography, NCCT)을 통해 급성 허혈성 뇌졸중 환자의 평가로

총 0~10단계로 분류를 한다. 이러한 ASPECT 스코어 분석연구는 급성 허혈성 뇌졸중 환자를 예측할 수 있는 인자로 활용되고 있으며, 이와 관련된 다양한 임상 연구들이 수행되고 있다[2][3]. 하지만 ASPECT 스코어의 계산은 객관적인 지표로의 활용으로 충분한 의미가 있지만, 임상외가 직접 수동으로 다량의 영상 데이터를 확인해야 하는 번거로움이 존재하는 단점이 있다.

2.2 IT기술 기반의 영상 분석 연구

앞서 언급한 ASPECT 스코어의 임상 연구는 다양한 접근 방법으로 계속되어 오고 있다. 또한 해당 기술을 보다 편리하고 자동화된 다양한 IT기반의 영상 분석[4-6] 기술들이 연구되고 있다.

경계 분석을 위한 ACM 기반의 분석 방법, 영역 기반의 분류 방법으로 워터셰드 기반의 분류 방법, 학습 기반의 통계 분석 방법 등 CT영상의 형태, 픽셀 정보를 활용한 방법 등 다양한 기술들이 연구되어 오고 있다. 이러한 방법들의 경우 진단 보조를 지원해주는 장점이 있지만, 높은 정확도를 도출하기 위해선 보다 많고 다양한 입력 정보를 요구하는 한계가 존재한다. 본 논문은 이러한 한계를 극복하기 위해 보다 효과적으로 높은 정확도를 확보할 수 있는 방법은 제안하고자 한다.

3. 유사도 분석 기반의 자동 ASPECT 스코어 계산 알고리즘

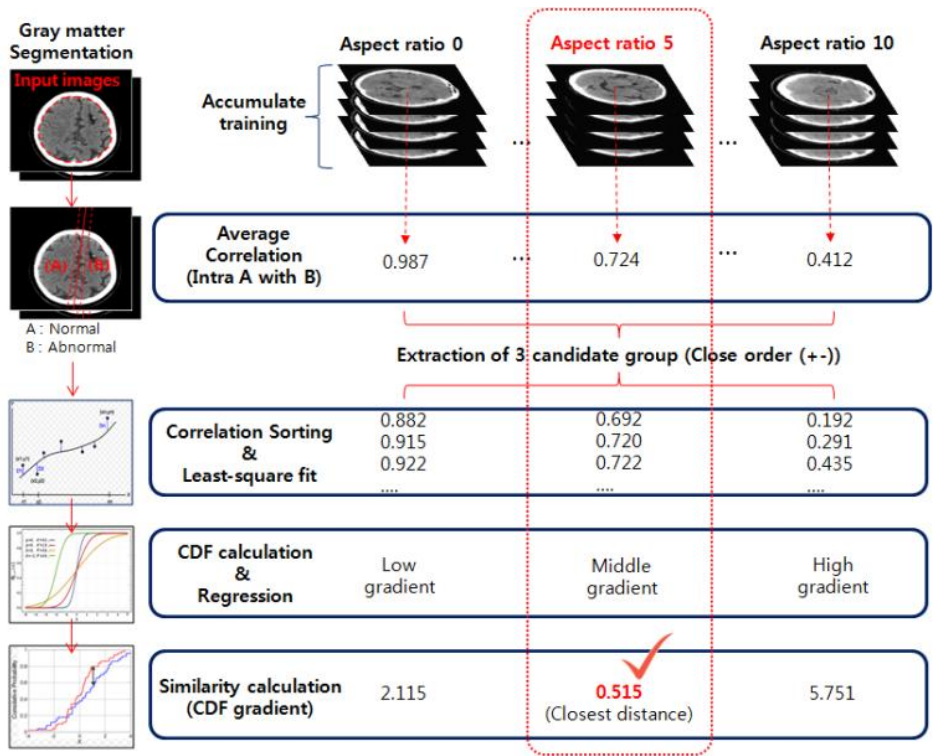
본 논문은 중추신경계 질환인 뇌졸중 진단을 위해, CT 영상 기반의 자동 ASPECT score 판단 알고리즘을 제안한다. 판단하고자 하는 ASPECT score는 0~10 등급으로 구분되며, 질환의 중증도에 따라 0(중증)에서 10(경증)으로 증가한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 통해 입력된 CT영상이 몇 등급의 ASPECT 스코어를 갖는지 판단하며, 해당 결과는 전문의의 진단에 보조적인 수단으로 활용된다.

제안 알고리즘의 순서는 입력된 CT영상의 뇌 영역의 경계 검출 작업, 검출된 영역의 정상영역과 비정상영역의 correlation 분석, correlation 기반의 후보군 선정, 그리고 마지막으로 후보군들의 correlation의 누적밀도함수(CDF) 분석을 통한 최종 ASPECT score(0~10) 결정 단계로 처리되어 진다. 전체 알고리즘 흐름은 다음 [그림 2]에서 나타내었으며, 자세한 프로세스 설명은 다음 챕터에서 단계별로 언급한다.

3.1 뇌 회질 경계 추출 단계

먼저 CT 영상에서의 외곽 영역 경계 검출을 위해 상,하,좌,우 방향에 처음 나타나는 픽셀값 (50 이상)을 기록하는 방식으로 처리한다. 기록된 외곽선을 닫힌 객체로 연결하는 Closing 연산을 수행한다. 그리고 외곽선을 Filling 연산을 거쳐 내부 정보가 존재하는 닫힌 객체로 만들고, 3x3 마스크

기반의 침식 연산을 통해 뇌의 gray matter 검출을 위한 초기 컨투어를 생성한다. 해당 컨투어는 ACM모델인 Snake[7] 방법 적용시 초기 컨투어로 활용하여 최종 gray matter 경계를 추출한다.



[그림 2] 제안한 유사도 기반의 자동 뇌졸중 진단 방법

[Fig. 2] Proposed Automated Stroke Diagnosis Method based on Similarity Analysis

3.2 추출된 회질 경계의 상관성 분석 단계

검출된 회질 영역의 가운데 경계선 검출을 위해 객체의 무게중심을 계산하고, 중심점을 기준으로 최단축을 계산한다. 계산된 최단축을 수평 180도가 되게끔 회전하여 각도를 맞춘다. 이어서 최단축을 수평선으로 하여 90도로 교차되는 수직을 생성한다. 생성된 수직선을 좌, 우로 10픽셀씩 탐색하여 좌,우로 영역을 나누었을 때, 두 영역의 비율이 가장 1:1의 비율이 되는 지점을 최적의 경계선으로 결정한다. 이는 두 영역 중 한 영역은 정상 영역임을 전제로 한 것으로, ASPECT score 0에서 10등급까지의 분류는 한쪽 영역에서만 병증이 진행되는 과정으로 나타낼 수 있다. 한쪽 영역은 정상, 다른 한쪽 영역은 비정상 영역이기 때문에, 두 영역 사이의 correlation 계산을 통해 텍스처 유사도 정보를 계산할 수 있게 된다. 즉, 계산된 correlation이 1에 가까울수록 약한 중증도인

0등급이고, 0에 가까울수록 강한 증증도인 10에 해당된다고 할 수 있다. 검출된 두 영역의 correlation 계산은 다음 (식 1)을 통해 처리되어 진다.

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2\right)\left(\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2\right)}} \quad (1)$$

3.3 ASPECT 스코어의 그룹핑 단계

ASPECT score의 0에서 10등급까지의 기준 마련을 위해서, 뇌졸중 환자 그룹 데이터 셋(70명)의 correlation 평균값으로 계산하여 가이드라인을 마련하였다. 평균값의 계산 이전에 임펄스 성격의 correlation 으로 간주하여 Least square fit 방법을 통해 보정작업을 수행하였다.

이에 입력된 correlation 값과 거리차가 가장 짧은 등급과 해당 등급에서 +, - 1차이의 등급을 포함하여 총 3개의 등급 후보군을 결정한다.

3.4 누적필도함수(CDF)기반의 최종 ASPECT 스코어 결정 단계

ASPECT score의 가이드라인 생성과 동일하게, 각 0~10 그룹에서 계산된 correlation 정보를 오름차순으로 정렬하여 누적밀도함수(CDF)를 생성한다. 이어서 각 등급의 데이터 셋 누적값을 회귀분석(Regression Analysis)을 통해 대표 함수를 계산한다. 계산된 각 등급의 대표 함수는 두 번째 가이드라인으로 제공되며, 해당 가이드라인 함수와 입력된 함수와의 기울기 비교를 통해 3개의 등급 중 가장 작은 차이를 갖는 등급을 도출한다.

4. 성능 평가

제안 방법의 성능 평가를 위해 50명의 환자 CT영상 데이터를 통해 오차행렬(Confusion Matrix)을 계산하였다. 제안 방법의 정확성 검증을 위해 기존 방법인 예지 검출 방법과 대표적 영역 분할 방법인 영역성장법 방법과 비교하였다. 비교 결과 오차행렬 값이 기존 방법들에 비해 보다 효과적인 검출 결과를 도출할 수 있었다. 해당 결과는 다음 [표 1]에 오차행렬 결과 값을 나타내었다.

비교 결과 경계 검출과 영역 검출 방법과는 달리 높은 정확도를 도출할 수 있었으며, 처리 복잡성을 비교해보았을 때 보다 단순하면서도 높은 정확도를 도출됨을 알 수 있었다. 일반적으로 경계 검출시의 일부 부정확성과 영역 검출시의 잘못된 임계값 설정 등 정보 개인 요소들이 많은 기존 방법들과는 달리, 검출된 영역에 한해서 상관 분석 방법을 적용한 부분이 정확도를 높일 수 있는 요소로 사료된다. 다만 일부 결과에 한해서 회질 영역 추출이나 좌우 영역 비교시 경계 구분 결과

에 따라 일부 정확도가 낮게 나오는 것을 확인하였다. 해당 부분은 상관성 분석의 입력 정보의 신뢰성 문제로 전처리 작업의 개선 필요성을 나타내었다.

[표 1] 제안 방법과 기존 방법들과의 비교 결과

[Table 1] Comparison Result of the Proposed Method with the Other Exist Method

Confusion matrix (50 images)	Proposed method	Canny edge (Contour based)	Region growing (Region based)
True Positive	44	21	40
False Positive	6	29	10
True Negative	46	41	41
False Negative	4	9	9

5. 결론

본 논문은 뇌졸중 진단을 위한 ASPECT score의 계산 방법을 자동으로 처리하는 알고리즘을 제안한다. 기존의 임상 전문의에 의해서 수작업으로 처리되어진 작업들을 전산화하는 작업에 의의가 있으며, 최근 IT기술이 접목된 영상 분석기술을 통해 많은 시도가 되고 있다. 그러나 기존의 영상 분석 방법들은 복잡한 영상처리 기술을 적용하여 비효율적인 사례들이 많다. 또한 데이터의 질과 양에 의존적인 딥러닝 분석 기술의 적용도 많아지고 있으나 클래스 수가 많은 본 ASPECT score의 경우 보통보다 많은 데이터 확보 및 증강이 요구된다. 본 논문의 제안방법은 정확도와 단순성 두 가지 특성을 가지는 효율적인 방법을 제안하였다. 제안 결과 기존 영상처리 방법과 머신러닝 방법들과 비교하여 정확도 측면과 처리 속도 측면에서 우위의 결과를 도출하였다. 제안 방법의 정확도 향상을 위해, 향후 각 단계별 가중치 요소를 추가하여 최적화된 방법을 연구하고자 한다.

References

- [1] Barber, P. A., Demchuk, A. M., Zhang, J., Buchan, A. M., & ASPECTS Study Group., Validity and reliability of a quantitative computed tomography score in predicting outcome of hyperacute stroke before thrombolytic therapy. *The Lancet*, (2000), 355(9216), pp.1670-1674.
- [2] Menon, B. K., Puetz, V., Kochar, P., & Demchuk, A. M., ASPECTS and other neuroimaging scores in the triage and prediction of outcome in acute stroke patients. *Neuroimaging Clinics*, (2011), 21(2), pp.407-423.
- [3] Liebeskind, D. S., Jahan, R., Nogueira, R. G., Jovin, T. G., Lutsep, H. L., & Saver, J. L., Serial Alberta Stroke Program early CT score from baseline to 24 hours in Solitaire Flow Restoration with the Intention for Thrombectomy study: a novel surrogate end point for revascularization in acute stroke. *Stroke*, (2014), 45(3), pp.723-727.
- [4] Ikeda, N., Dey, N., Sharma, A., Gupta, A., Bose, S., Acharjee, S. & Laird, J. R., Automated segmental-IMT measurement in thin/thick plaque with bulb presence in carotid ultrasound from multiple scanners: Stroke risk assessment. *Computer methods and programs in biomedicine*, (2017), 141, pp.73-81.
- [5] Rajinikanth, V., Satapathy, S. C., Dey, N., & Lin, H., Evaluation of ischemic stroke region from CT/MR images using hybrid image processing techniques. In *Intelligent Multidimensional Data and Image Processing*, IGI Global, (2018), pp.194-219.
- [6] Rajinikanth, V., Thanaraj, K. P., Satapathy, S. C., Fernandes, S. L., & Dey, N. Shannon's Entropy and Watershed Algorithm Based Technique to Inspect Ischemic Stroke Wound. In *Smart Intelligent Computing and Applications*, Springer, (2019), pp. 23-31, Singapore.
- [7] Williams, D. J., & Shah, M., A fast algorithm for active contours and curvature estimation. *CVGIP: Image understanding*, (1992), 55(1), pp.14-26.

