

유방 초음파 진단 일반화 성능 향상을 위한 캡슐 네트워크 기반 분류 모델

김찬호¹, 김원화^{1,2}, 김혜정^{1,2}, 김재일¹

¹ 경북대학교, ² 경북대학교병원

knight970815@gmail.com, greenoaktree9@gmail.com, ant637@naver.com,
threeyears@gmail.com

A capsule network-based model for improving diagnostic generalizability using breast ultrasonography

Chanho Kim¹, Won Hwa Kim^{1,2}, Hye Jung Kim^{1,2}, Jaeil Kim¹

¹Kyungpook National Univ., ²Kyungpook National University Chilgok Hospital

요 약

최근 유방 초음파 영상을 활용한 기계학습 기반 컴퓨터 보조 진단 기술이 활발하게 발표되고 있으나, 유방 초음파 영상의 다양성과 기계학습 기술의 낮은 일반화 성능과 신뢰도 때문에 실제 진단 과정에 적용하기에 어려움이 있다. 본 논문은 초음파 영상에서 유방 종양 진단에 대한 일반화 성능을 높이기 위해 캡슐 네트워크 기반 유방 종양 감별 진단 모델을 제안한다. 또한, 다수의 초음파 영상 장비와 병원으로부터 획득한 영상 데이터를 내부 기관 데이터 셋과 외부 기관 데이터 셋으로 나누어 제안한 모델의 성능을 평가하고, 일반화 성능 향상을 검증한 실험 결과를 소개한다.

I. 서 론

유방 종양 진단에서 초음파 영상은 비침습적이고 인체 내부 조직에 대한 높은 시각화 성능과 안정성, 적은 비용을 장점으로 유방암 조기 진단에 일반적으로 사용되고 있다 [1]. 최근 초음파 영상 기기와 영상처리 및 기계학습 기술의 발전에 따라 종양의 양/악성 판별과 종양 검출을 수행하여 진단 정확도를 높이고자 하는 컴퓨터 보조 진단 기술이 활발하게 발표되고 있다 [2,3]. 하지만 유방 초음파 영상은 종양의 다양성과 잡음 등 여러 요인에 따라 영상 변이가 다양하게 나타나고 기계학습 기술의 낮은 일반화 성능과 신뢰도 때문에 실제 진단 과정에 적용하기에 어려움이 있다. 본 논문에서는 기계학습 기술의 일반화 성능을 높이기 위해 가우시안 피라미드와 캡슐 네트워크를 활용한 유방 초음파 분류 모델을 제안한다. 또한, 다수의 초음파 기기와 병원으로부터 수집한 유방 초음파 영상을 내부 기관 데이터 셋과 외부 기관 데이터 셋으로 나누어 제안한 모델의 효용성을 평가한다.

II. 본론

유방 초음파 영상 데이터

본 연구를 위하여 두 병원에서 내부 기관 데이터와 외부 기관 데이터를 획득하였다. 내부 기관 데이터는 총 1,568 장(양성 768 장, 악성 800 장)의 초음파 영상으로 모델 학습용 1,000 장(양성 500 장, 악성 500 장)과 학습 중 모델 튜닝용 200 장(양성 100 장, 악성 100 장), 모델

검증용 368 장(양성 168 장, 악성 200 장)으로 나누었다. 외부 기관 데이터는 257 장(양성 129 장, 악성 128 장)으로 모델 검증용으로 사용하였다. 수집된 영상 데이터는 익명화 및 비식별화를 거친 후 화소값을 0 과 1 사이로 정규화하였다. 유방 종양의 양/악성 분류는 임상 진단 결과를 따라 결정되었다.

유방 종양 감별 진단을 위한 모델 구조

본 논문에서는 가우시안 피라미드와 캡슐 네트워크를 활용한 유방 초음파 분류 모델을 제안한다. 가우시안 피라미드는 가우시안 필터를 사용하여 초음파 영상의 텍스처 정보를 제거하고 입력 영상의 크기를 줄여 다양한 크기의 종양과 그 형태를 모델에 학습시킨다. 가우시안 피라미드의 하위 계층에서 상위 계층으로 올라갈수록 영상의 텍스처 정보는 사라지고 종양의 모양에 대한 정보만 남게 된다. 이후 합성곱 신경망 모델을 통해 다중-크기 특징을 추출한다. 다양한 크기에 대한 정보를 반영하기 위해 합성곱 층을 병렬로 구성하였다. 이렇게 추출된 특징 맵으로 종양의 양/악성을 분류하기 위해 캡슐 네트워크를 활용하였다 [3]. 캡슐 네트워크는 캡슐이라는 벡터를 단위로 하여 연산을 수행한다. 스칼라값을 단위로 하는 기존의 신경망 보다 고차원의 특징을 학습할 수 있다. 합성곱 모델을 거친 특징 맵을 캡슐 형태로 변형하여 다이나믹 라우팅 과정을 수행한다. 다이나믹 라우팅 과정은 아핀 변환을 통해 상위 캡슐을 예측하고 예측 벡터를 실제 아웃풋에 따라 라우팅하여 최종 출력 벡터를 계산한다. 이 과정을 반복하면서 실제 출력과 유사한 예측 벡터에 가중치가

추가되고 입력 영상에 없는 개체의 벡터는 짧아지고, 입력 영상에 존재하는 개체의 벡터는 길어지게 된다. 이후 비선형 함수인 스퀴시 함수를 통해 최종 출력 벡터의 길이는 양/악성에 대한 확률을 나타내게 된다.

진단 정확도 평가

분류 성능을 평가하기 위해 제안 모델과 비교 모델의 정확도와 민감도, 특이도를 평가하였다. 성능 비교를 위해 이미지 분류 문제에 좋은 성능을 보이는 GoogLeNet [5]와 Inception-v3 [6] 분류 모델을 초음파 영상으로 학습하였다. 또한, 제안 모델과 마찬가지로 종양의 텍스처 정보를 지우고 모양에 대한 정보를 학습하기 위해 입력 영상에 무작위 크기의 가우시안 필터를 적용하여 학습하였다. GoogLeNet 과 Inception-v3 의 경우 내부 기관 데이터 셋에서 각각 92.66%와 96.47%로 높은 성능을 달성하였지만, 외부 기관 데이터 셋에서는 70.04%와 77.43%로 성능이 하락하였다. 또한, 입력 영상에 가우시안 필터를 적용하여 블러된 영상을 학습한 GoogLeNet 과 Inception-v3 의 경우 내부 기관 데이터 셋에서 각각 93.75%와 95.11%의 정확도를 보여주었고, 외부 기관 데이터 셋에서 77.43%와 78.99%의 정확도를 달성하여 두 모델 모두 일반화 성능이 향상된 결과를 보여주었다. 제안 모델은 내부 기관과 외부기관 데이터 셋 모두 각각 97.01%와 88.72%로 가장 높은 성능을 달성하였다.

잡음에 대한 강건함 평가

잡음은 초음파의 내재한 특성으로 초음파 영상의 해상도를 훼손하여 영상을 해석하기 어렵게 만든다. GoogLeNet 과 Inception-v3 의 경우 잡음이 추가된 영상에 대한 정확도가 급격히 하락하였고, 두 모델 모두 블러된 영상을 통해 종양의 모양에 대한 정보를 학습하면 잡음에 대한 강건함이 일부 증가하였다. 이에 반해, 제안 모델은 잡음이 추가되어도 일정한 성능을 유지하였다. 이를 통해 다이나믹 라우팅 과정과 종양의 모양에 대한 학습 및 가우시안 피라미드를 통한 다중-크기 특징에 대한 학습이 잡음에 대한 분류 모델의 강건함을 향상할 수 있음을 알 수 있었다.

III. 결론

본 논문에서는 캡슐 네트워크를 활용하여 초음파 영상에서 유방 종양을 감별 진단하기 위한 분류 모델을 제안한다. 제안한 방법은 가우시안 피라미드를 활용하여 종양 영상의 텍스처 정보뿐만 아니라 종양의 모양에 대한 정보와 다중-크기 특징에 대해 학습한다. 또한, 캡슐 벡터와 다이나믹 라우팅 과정을 통해 강건한 특징을 학습하여 기존의 합성곱 신경망보다 높은 일반화 성능을 보여준다. 이를 평가하기 위해, 다수의 초음파 장비와 병원으로부터 획득한 영상 데이터를 내부 기관 데이터 셋과 외부 기관 데이터 셋으로 나누어서 진단 정확도를 측정하고 일반화 성능을 검증하기 위한 실험을 진행하였다. 기존의 합성곱 신경망은 학습에 사용된 내부 기관 데이터 셋에서 높은 성능을 달성하였지만, 학습에 사용되지 않은 외부 기관 데이터 셋에서 오히려 성능이 감소하였다. 반면, 제안한 모델은 내부 기관과 외부 기관 데이터 셋 모두 높은 성능을 달성하였다. 또한, 입력

영상에 초음파 영상에서 흔히 발생하는 잡음을 추가하여 제안한 모델의 강건함을 측정하였다. 일반적으로 잡음의 세기를 높일수록 분류 모델의 성능이 떨어지지만, 제안한 모델은 잡음에 상관없이 일정한 성능을 보여주었다. 이러한 방법과 더불어 신뢰도 분석과 설명 가능한 인공지능을 통하여 컴퓨터 보조 진단 시스템의 범용성을 확보하고 실제 진단 과정에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 2021 년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(K EIT) 연구비(20011875), 교육부 재원 한국연구재단 기초연구 사업(No. 2020R1I1A3074639), 과학기술정보통신부 재원 한국 연구재단 우수신진연구(No.2020R1C1C1006453)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] Wang, Lulu. "Early diagnosis of breast cancer." *Sensors* 17.7 (2017): 1572.
- [2] M. H. Yap, G. Pons, J. Martí, S. Ganau, M. Sentís, R. Zwigelaar, A. K. Davison, and R. Martí, "Automated breast ultrasound lesions detection using convolutional neural networks," *IEEE journal of biomedical and health informatics*, vol. 22, no. 4, pp. 1218– 1226, 2017
- [3] S. Han, H.-K. Kang, J.-Y. Jeong, M.-H. Park, W. Kim, W.-C. Bang, and Y.-K. Seong, "A deep learning framework for supporting the classification of breast lesions in ultrasound images," *Physics in Medicine & Biology*, vol. 62, no. 19, p. 7714, 2017
- [4] Sabour, Sara, Nicholas Frosst, and Geoffrey E. Hinton. "Dynamic routing between capsules." *arXiv preprint arXiv:1710.09829* (2017).
- [5] Szegedy, Christian, et al. "Going deeper with convolutions." *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2015.
- [6] Szegedy, Christian, et al. "Rethinking the inception architecture for computer vision." *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2016.