

# QRS 파형 기반 생성 모델의 심전도 데이터 증강

윤남경, 김기석, 이동재, 김상홍, 김황남\*  
고려대학교

{nkyoon93, kisuk528, djrandy, sanghongkim, hnkim}@korea.ac.kr

## QRS waveform-based Generative Model for Electrocardiogram Information

Namkyung Yoon, Kiseok Kim, Dongjae Lee, Sanghong Kim, Hwangnam Kim\*  
Korea Univ.

### 요약

본 논문은 고품질의 합성 심전도(ECG) 신호 생성을 목표로 하는 ECG-어텐션 메커니즘을 사용한 조건부 생성 적대 네트워크(cGAN) 프레임워크를 제안한다. 제안된 cGAN 아키텍처는 ECG 파형 구성 요소 중 중요한 부분 (R-peak, QRS 복합체 및 T-wave)에 초점을 맞춘 혁신적인 어텐션 메커니즘을 활용하여 특정 조건에 따라 심전도 신호를 효율적으로 생성한다. 훈련 및 검증에 사용된 심전도 데이터 세트는 고해상도 장비로 측정된 MIT-BIH Arrhythmia Database 를 사용하며, 모델을 통해 학습하고 다양한 조건의 합성데이터를 생성한다. 본 모델의 결과는 실제 임상 기록과 구별할 수 없는 현실적인 심전도 추적을 생성하는 모델의 능력을 보여줌으로써 다양한 심전도 기반 진단 데이터를 확보하고 심장학 분야의 기계 학습 모델을 위한 양질의 훈련 데이터의 접근성을 확장할 수 있는 상당한 잠재력을 제공한다.

### I. 서론

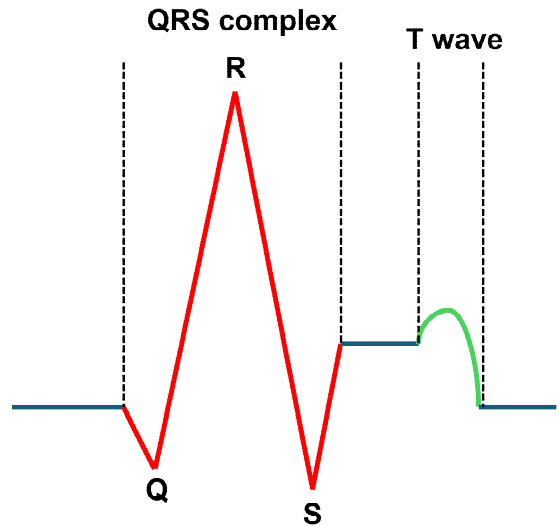
심전도(ECG)는 심장의 전기적 신호를 기록하는 비침습적 진단 도구로, 다양한 심혈관 질환의 진단에 널리 사용된다 [1]. 그러나 심장 전문의 수 감소등의 이유로 진단 인력과 임상 데이터 가용성 측면에서 큰 어려움에 직면한다 [2]. 우리는 이를 해결하기 위해 AI 기반 생성 알고리즘을 사용하여 실제로 측정되지 않은 조건에 대해 고품질의 임상 심전도 데이터를 생성하는 방법을 제안한다. 이러한 생성 알고리즘은 최근 다양한 분야에 적용되어 통합되고 있으며, 유망한 결과를 보여준다 [3].

다양한 심혈관 문제를 해결하기 위해 현재 연구 중인 인공지능 기술의 성능은 고품질 학습 데이터의 가용성에 크게 의존한다. 기존 데이터셋을 확장하거나 새로운 합성 데이터를 생성함으로써 기존 식별 알고리즘의 성능을 향상시키는 것을 목표로 한다. 이 접근 방식은 심장 전문의 부족을 완화하고 심전도 분석의 정확성을 향상시켜 궁극적으로 건강 결과를 개선할 수 있는 잠재력을 가지고 있다.[1]

### II. 본론

본 연구에서는 그림 1 과 같은 심전도 신호의 주요 특징인 R-peak, QRS complex, T-wave 에 초점을 맞추는 새로운 심전도 어텐션 메커니즘을 제안한다 [4]. 각 심장 파형 구성 요소에 대한 특징 추출은 각각의 고유한 속성을 포착하도록 맞춤화된 컨볼루션 레이어를 사용하여 수행된다. 추출된 특징들은 채널 차원을 따라 연결되고, 어텐션 레이어가 적용되어 심전도 신호 전반에

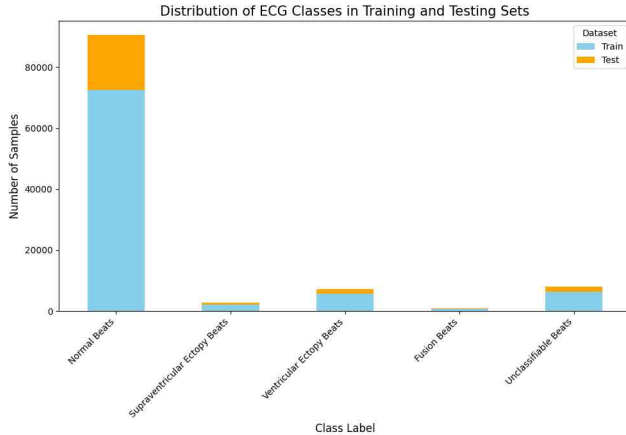
그림 1 심전도 신호의 파형 특성



걸쳐 중요한 영역을 동적으로 강조한다. 이 어텐션 메커니즘은 결과의 해석 가능성과 진단 정확도를 모두 향상시키는 것을 목표로 한다 [5].

또한, 특정 심장 상태에 따라 합성 심전도 신호를 생성하기 위한 조건부 생성적 적대 신경망(cGAN) 아키텍처를 설계한다. cGAN 은 생성자 네트워크 G 와 판별자 네트워크 D 의 두 가지 주요 구성 요소로 이루어진다 [6]. 생성자 네트워크 G 는 무작위 노이즈 벡터와 조건 레이블을 입력으로 받아 합성 심전도 신호를 생성한다. 판별자 네트워크 D 는 심전도 신호와 조건

그림 2 ECG 데이터의 클래스 및 분포



레이블을 입력으로 받아 입력이 실제 심전도 신호일 확률을 예측한다. cGAN의 목적은 생성자 네트워크 G가 실제 심전도 신호와 유사한 사실적인 심전도 신호를 생성하도록 훈련하는 것이고, 판별자 네트워크 D는 실제 심전도 신호와 생성된 심전도 신호를 구별하도록 훈련된다.

제안된 심전도 어텐션 메커니즘과 cGAN 아키텍처는 심장 이상을 나타내는 심전도 신호의 중요한 영역에 적응적으로 초점을 맞추고, 다양한 심장 질환을 식별하는 데 있어 정확성과 효율성을 향상시킬 것으로 기대된다.

### III. 결론

본 연구에서는 높은 충실도와 정확도를 보장하기 위해 특정 하드웨어 구성으로 기록된 심전도 데이터셋을 사용했다. 그림 2에 나타나는 데이터셋에는 'Normal Beats', 'Supraventricular Ectopy Beats', 'Ventricular Ectopy Beats', 'Fusion Beats', 'Unclassifiable Beats'에 대한 정보가 포함된 풍부한 임상 요약이 포함되어 있다 [7].

실험 결과, 조건부로 생성된 합성 심전도 데이터셋은 각 레이블에 대해 개별적으로 명시적으로 훈련되지 않았음에도 불구하고 대부분의 비트 유형에서 원본 데이터와 비교했을 때 우수한 성능을 보였다. 이는 'Normal Beats, Ventricular Ectopy Beats, Unclassifiable Beats'에 대한 평균 제곱 오차(MSE) 값이 상대적으로 낮은 것에서 알 수 있으며, 이는 합성 데이터가 이러한 유형의 원본 데이터와 매우 유사함을 나타낸다.

Fusion Beat와 Supraventricular Ectopy Beats에 대한 합성 데이터의 MSE 값은 상대적으로 높았는데, 이는 해당 유형의 원본 데이터와의 편차가 더 크다는 것을 시사한다. 전반적으로 모델은 Supraventricular Ectopy Beats를 제외한 대부분의 유형에서 각 레이블에 대해 명시적으로 학습하지 않고도 원본 데이터와 유사한 합성 심전도 데이터를 생성할 수 있었다.

결론적으로 이 연구는 다양한 유형의 심장 박동에 대한 합성 심전도 데이터를 생성하기 위해 cGAN을 적용한 것을 보여주었다. 생성된 데이터의 품질은 MSE를 지표로 사용하여 원본 데이터와 비교하여 평가되었다. 이 접근 방식은 데이터 증강, 모델 훈련, 희귀하거나 표현되지 않은 조건 등 다양한 응용 분야에 유용할 수 있는 고품질 합성 의료 데이터 생성을 필요로 하는 우리 연구의 잠재력을 강조한다.

합성 데이터의 종류	MSE
Normal Beats	0.5811
Supraventricular Ectopy Beats	2.6268
Ventricular Ectopy Beats	0.6110
Fusion Beats	1.4991
Unclassifiable Beats	0.5646

표 1 원본 데이터와 합성 데이터 간의 MSE 비교

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터지원사업(IITP-2024-2021-0-01835), 그리고 2024년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRIT-CT-23-041, LiDAR/RADAR 지원 엡지 AI 기반의 고신뢰 IR/UV FSO/OCC 특화연구실).

### 참고 문헌

- [1] Thomas Gaziano, K Srinath Reddy, Fred Paccaud, Sue Horton, and Vivek Chaturvedi. Cardiovascular disease. Disease Control Priorities in Developing Countries. 2nd edition, 2006.
- [2] Mira Kim, Kyunghye Chae, Ju Mee Wang, Arum Choi, Jang-Whan Bae, Keon-Woong Moon, and Sukil Kim. Estimation of supply and demand for cardiologists in korea. Korean Circulation Journal, 54(1):1, 2024.
- [3] Ulas Baran Baloglu, Muhammed Talo, Ozal Yildirim, Ru San Tan, and U Rajendra Acharya. Classification of myocardial infarction with multi-lead ecg signals and deep cnn. Pattern recognition letters, 122:23- 30, 2019.
- [4] Shimon Abboud and Sharon Zlochiver. High-frequency qrs electrocardiogram for diagnosing and monitoring ischemic heart disease, 2006.
- [5] Ashish Vaswani, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones, Aidan N Gomez, Łukasz Kaiser, and Illia Polosukhin. Attention is all you need. Advances in neural information processing systems, 30, 2017.
- [6] Mehdi Mirza and Simon Osindero. Conditional generative adversarial nets. arXiv preprint arXiv:1411.1784, 2014.
- [7] W Bruce Fye. Introduction: the origins and implications of a growing shortage of cardiologists. Journal of the American College of Cardiology, 44(2):221- 232, 2004.