사물인터넷융복합논문지 Vol. 12, No. 1, pp. 175-180, 2026 https://doi.org/10.20465/KIOTS.2026.12.1.175

SOM 기반 환자 상태 군집화와 FHIR 온톨로지 매핑을 통한 임상 의사결정 지원 시스템

김귀정*
백석대학교 컴퓨터공학부 교수

A Clinical Decision Support System Using SOM-Based Patient State Clustering and FHIR Ontology Mapping

Gui Jung Kim*
Professor, Division of Computer Engineering, Baekseok University

요 약 본 논문에서는 사물인터넷(IoT) 환경에서 수집되는 환자 데이터를 활용하여, SOM 기반 환자 상태 군집화와 FHIR 온톨로지 매핑을 결합한 임상 의사결정 지원 시스템을 제안한다. 환자 상태 데이터는 개인 간 편차가 크고 명확한 라벨 정의가 어려워, 기존 지도학습 기반 분석에는 한계가 존재한다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 비지도 학습 기법인 자기조직화 지도(SOM)를 적용하여 환자 상태의 잠재적 패턴을 군집화하였다. 도출된 군집 결과는 HL7 FHIR 기반 온톨로지 구조와 매핑되어 임상적으로 해석 가능한 의미 단위로 변환된다. 이를 통해 군집 결과는 단순한 분석 결과를 넘어, 임상 정보 시스템과 연계 가능한 형태로 표현된다. 또한 군집 결과를 기반으로 환자 상태를 안정, 과도기, 위험, 고위험 상태로 구분하여 임상 의사결정 지원에 활용할 수 있도록 하였다. 사례 적용을 통해 제안 시스템이 환자 상태 분석과 임상 판단 과정에서 효과적으로 활용될 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 환자 상태 분석 결과의 해석 가능성과 임상 활용성을 동시에 고려한 의미 기반 의사결정 지원 구조를 제시한다는 점에서 의의가 있다.

주제어 : 환자 상태 분석, 자기조직화 지도, 비지도 학습, FHIR 온톨로지, 임상 의사결정 지원

Abstract This paper proposes a clinical decision support system that integrates SOM-based patient state clustering with FHIR ontology mapping using patient data collected in IoT-based healthcare environments. Patient state data exhibit high inter-individual variability and lack clearly defined labels, which limits the applicability of conventional supervised learning approaches. To address this issue, a Self-Organizing Map (SOM) is employed to identify latent patterns in patient states through unsupervised clustering. The resulting clusters are mapped to HL7 FHIR-based ontology structures, enabling clinically interpretable representations of patient states. Through this mapping process, clustering results are transformed from analytical outputs into semantically meaningful information that can be integrated with clinical information systems. Furthermore, patient states are categorized into stable, transitional, risk, and high-risk levels to support clinical decision-making. Case-based evaluation demonstrates that the proposed system can effectively assist in patient state assessment and clinical decision support. The proposed approach provides a meaningful decision support framework that enhances both interpretability and clinical applicability of patient state analysis results.

Key Words : Patient State Analysis, Self-Organizing Map, Unsupervised Learning, FHIR Ontology, Clinical Decision Support

본 논문은 2025학년도 백석대학교 학술연구비 지원을 받아 수행되었음.
*교신저자 : 김귀정(gjkim@bu.ac.kr)
접수일 2026년 01월 06일 수정일 2026년 02월 04일 심사완료일 2026년 02월 16일

www.kci.go.kr

1. 서론

사물인터넷(IoT) 기술의 발전으로 의료 환경에서는 환자의 생체신호, 활동 정보, 임상 기록 등 다양한 형태의 데이터가 지속적으로 생성·수집되고 있다[1,15]. 이러한 데이터는 환자 상태를 보다 정밀하게 파악하고, 맞춤형 진료 및 예측 기반 의료 서비스를 제공하는 데 중요한 기반이 된다. 그러나 실제 임상 환경에서는 방대한 데이터가 존재함에도 불구하고, 이를 환자 상태 분석과 의사결정 지원으로 효과적으로 활용하는 데에는 여전히 한계가 존재한다.

기존 의료 정보 시스템은 데이터의 저장과 전달에 초점을 맞추어 설계된 경우가 많아, 환자 상태에 내재된 패턴을 분석하고 이를 임상적으로 해석하는 기능은 상대적으로 부족하다. 특히 지도학습 기반의 분류 기법이나 딥러닝 모델은 높은 예측 성능을 보이지만, 분석 결과의 해석이 어렵고 임상적 근거를 명확히 제시하기 어렵다는 문제가 있다[2,13]. 이러한 특성은 임상의의 의사결정 과정에서 해당 결과를 신뢰하고 활용하는 데 제약 요소로 작용한다.

이러한 문제를 해결하기 위해 최근에는 환자 데이터를 사전에 정의된 라벨에 의존하지 않고 분석할 수 있는 비지도 학습 기반 접근이 주목받고 있다[2,3,9,10]. 비지도 군집화 기법은 환자 상태의 잠재적인 구조와 특성을 자연스럽게 도출할 수 있으며, 다양한 환자 유형을 탐색적으로 분석하는 데 유리하다. 그중 자기조직화 지도(Self-Organizing Map, SOM)는 고차원 데이터를 저차원 공간에 시각적으로 표현할 수 있어, 군집 결과의 해석 가능성이 높다는 장점을 가진다[4].

한편, 데이터 분석 결과를 실제 임상 의사결정으로 연결하기 위해서는 의료 데이터 표준과의 연계가 필수적이다. 최근 의료 정보 교환 표준으로 널리 활용되고 있는 HL7 FHIR(Fast Healthcare Interoperability Resources)는 의료 데이터의 구조적 표현뿐 아니라 시스템 간 상호운용성을 지원하는 핵심 표준으로 자리 잡고 있다[5,8,11,12]. 분석 결과를 FHIR 기반 구조로 표현하고, 온톨로지를 통해 임상적 의미를 부여할 경우, 환자 상태 분석 결과를 임상 정보 시스템과 효과적으로 연계할 수 있다[6,14].

이에 본 논문에서는 SOM 기반 환자 상태 군집화 기법과 FHIR 온톨로지 매핑을 결합한 임상 의사결정 지원 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 IoT 기반으로 수집된 환자 데이터를 비지도 학습 방식으로 군집화하고, 군집 결과를 FHIR 온톨로지와 연계하여 임상적 의미를 해석함으로써, 의료진의 의사결정을 지원하는 것을 목표로 한다[7,15]. 이를 통해 기존 분석 중심 연구에서 한 단계 나아가, 실제 임상 활용이 가능한 의미 기반 의사결정 지원 구조를 제시하고자 한다.

2. 선행 연구

환자 상태 분석을 위한 연구는 생체신호, 임상 검사 결과, 활동 데이터 등 다양한 정보를 활용하여 환자의 건강 상태를 분류하거나 예측하는 방향으로 진행되어 왔다[1,15]. 초기 연구에서는 통계적 분석이나 규칙 기반 접근이 주를 이루었으며, 이후 머신러닝 기법을 적용한 환자 분류 및 예측 연구가 활발히 수행되었다. 최근에는 딥러닝 기반 모델이 도입되면서 예측 성능은 향상되었으나, 모델 내부 구조의 복잡성으로 인해 결과 해석이 어렵다는 한계가 지적되고 있다[2,13].

비지도 학습 기반 환자 분석 연구는 이러한 한계를 보완하기 위한 대안으로 제시되고 있다[2,3,9,10]. 군집화 기법은 환자 데이터를 사전에 정의된 클래스에 의존하지 않고 분석할 수 있어, 다양한 환자 유형과 상태 변화를 탐색적으로 파악하는 데 적합하다. 특히 의료 데이터의 경우 개인 간 편차가 크고 명확한 라벨 정의가 어려운 경우가 많아, 비지도 학습 접근의 활용 가치가 높다. SOM은 이러한 비지도 학습 기법 중 하나로, 경쟁 학습을 통해 입력 데이터를 저차원 격자 구조에 매핑함으로써 데이터 간의 유사성을 직관적으로 표현할 수 있다[4]. 의료 분야에서는 SOM을 활용하여 환자 상태 패턴 분석, 생체신호 시각화, 질병 유형 탐색 등의 연구가 수행되어 왔으며, 군집 결과를 시각적으로 해석할 수 있다는 점에서 설명 가능성이 높은 기법으로 평가받고 있다[9,13].

한편, 의료 데이터 표준화와 상호운용성 확보를 위한 연구도 꾸준히 진행되고 있다. HL7 계열 표준은 의료 정보 교환을 위한 대표적인 표준으로 발전해 왔으며, 최근에는 FHIR를 중심으로 한 표준 기반 시스템이 확산되고 있다[5,11,12]. FHIR는 자원(Resource) 단위의 데이터 구조를 통해 의료 정보를 유연하게 표현할 수 있으며, 다양한 의료 시스템과의 연계를 용이하게 한다[8].

온톨로지를 활용한 임상 의사결정 지원 연구는 의료 지식을 체계적으로 표현하고, 데이터 분석 결과에 의미를 부여하는 데 초점을 둔다[6,14]. 온톨로지 기반 접근은 환자 데이터와 임상 지식 간의 관계를 명확히 정의할

수 있어, 분석 결과를 임상적 판단으로 연결하는 데 효과적이다. 그러나 기존 연구에서는 데이터 분석과 표준 연계가 분리되어 수행되는 경우가 많아, 통합적인 시스템 관점의 접근은 상대적으로 부족하였다[7,15].

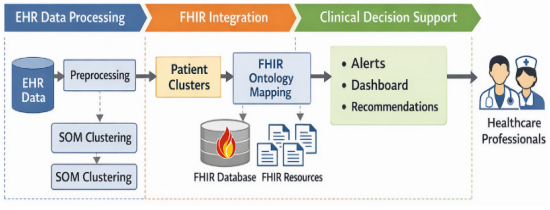
3. 시스템 전체 구조

3.1 시스템 개요

본 논문에서 제안하는 임상 의사결정 지원 시스템은 사물인터넷 환경에서 생성되는 환자 데이터를 단순히 수집·분석하는 수준을 넘어, 분석 결과가 실제 임상 판단 과정에 활용될 수 있도록 설계된 통합 구조를 갖는다. 기존 의료 데이터 분석 시스템은 데이터 처리 단계와 임상 활용 단계가 분리되어 있는 경우가 많아, 분석 결과가 의료진의 의사결정으로 자연스럽게 연결되지 않는 문제가 있었다.

이를 해결하기 위해 본 시스템은 데이터 수집, 분석, 의미 해석, 의사결정 지원 단계를 하나의 흐름으로 통합하였다. 특히 분석 결과를 의료 데이터 표준인 FHIR 기반 구조로 변환하고, 온톨로지를 통해 임상적 의미를 부여함으로써, 환자 상태 분석 결과가 임상 정보 시스템과 연계 가능하도록 설계하였다. 이러한 접근은 데이터 분석 결과의 활용성을 높이고, 의료진이 분석 결과를 신뢰하고 참고할 수 있는 기반을 제공한다.

[Fig. 1]은 제안하는 시스템의 전체적인 구성과 데이터 흐름을 나타낸다. IoT 기반 의료 기기로부터 수집된 환자 데이터는 전처리 과정을 거쳐 분석에 적합한 형태로 변환되며, 이후 SOM 기반 군집화 기법을 통해 환자 상태 패턴으로 분석된다. 군집 결과는 FHIR 온톨로지 매핑을 통해 임상적 의미로 해석되고, 최종적으로 임상 의사결정 지원 모듈에 전달된다.



[Fig. 1] Architecture of the clinical decision support system

3.2 데이터 수집 및 전처리

환자 데이터는 웨어러블 센서, 생체신호 측정 장비, 병원 정보 시스템 등 다양한 IoT 기반 환경에서 수집된다. 이러한 데이터는 측정 주기, 단위, 신뢰도 측면에서 상이한 특성을 가지므로, 분석 이전에 체계적인 전처리 과정이 필요하다. 전처리 과정이 충분히 수행되지 않을 경우, 군집 결과의 신뢰성과 해석 가능성이 저하될 수 있다.

본 연구에서는 결측치 처리와 이상치 제거를 통해 데이터의 안정성을 확보하고, 환자 간 비교가 가능하도록 정규화 과정을 수행하였다. 이후 환자 상태를 종합적으로 표현할 수 있도록 주요 임상 지표와 생체신호를 기반으로 특징 벡터를 구성하였다. 이러한 특징 벡터는 환자 상태의 전반적인 특성을 반영하도록 설계되었으며, SOM 기반 군집화 과정에서 환자 간 유사성을 효과적으로 표현하는 역할을 한다.

3.3 분석 및 의사결정 지원 구조

전처리된 환자 데이터는 SOM 기반 군집화 모듈로 입력되어 환자 상태의 잠재적 패턴을 분석한다. SOM은 고차원 데이터를 저차원 공간에 매핑함으로써 환자 간 상태 유사성을 시각적으로 표현할 수 있으며, 이는 군집 결과의 해석 가능성을 높이는 데 기여한다. 특히 의료 데이터의 경우 환자 상태가 연속적으로 변화하는 특성을 가지므로, SOM 기반 접근은 이러한 특성을 자연스럽게 반영할 수 있다.

군집화 결과는 FHIR 온톨로지 매핑 모듈로 전달되어 임상적 의미를 부여받는다. 이 과정에서 군집은 특정 환자 상태 유형이나 임상적 특성을 나타내는 의미 단위로 해석된다. 최종적으로 임상 의사결정 지원 모듈은 이러한 의미 해석 결과를 의료진에게 제공하여, 환자 상태 평가 및 진료 방향 설정을 보조한다.

이를 보다 명확히 하기 위해 제안 시스템의 처리 과정은 다음과 같은 절차적 구조로 정의할 수 있다. 먼저 환자 데이터 벡터 x∈Rn에 대해 전처리 함수 P(x)를 적용하여 정규화된 특징 벡터 v를 생성한다. 이후 SOM 학습 과정에서는 입력 벡터와의 거리 최소화 기준에 따라 승자 뉴런 $w*=\arg\min i\|v-wi\|$을 선택하고, 이웃 함수 h(t)에 의해 주변 뉴런의 가중치를 반복적으로 갱신한다. 이 과정을 통해 형성된 군집 결과 Ck는 FHIR 리소스 매핑 함수 $M(Ck)\rightarrow R$FHIR를 통해 임상 의미 공간으로 변환되며, 최종적으로 의사결정 지원 함수 $D(R$FHIR$)\rightarrow S$가 환자 상태 해석 정보 S를 출력한

www.kci.go.kr

다. 이와 같은 단계적 처리 구조는 제안 방법이 데이터 전처리, 비지도 군집화, 의미 기반 매핑, 임상 의사결정 지원으로 이어지는 일관된 절차적·수학적 흐름을 갖고 있음을 보여주며, 시스템의 합리성과 재현 가능성을 동시에 설명한다.

4. SOM 기반 환자 상태 군집화 및 FHIR 매핑 방법

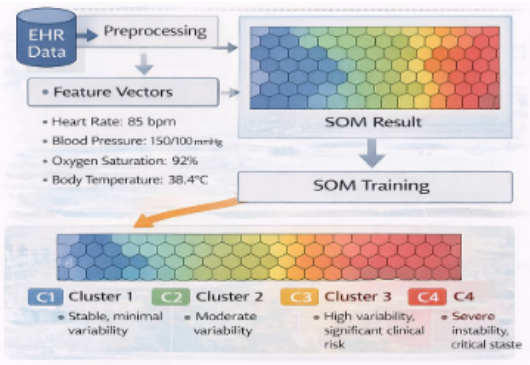
4.1 SOM 기반 환자 상태 군집화 방법

환자 상태 데이터는 개인 간 편차가 크고 시간에 따라 연속적으로 변화하는 특성을 가진다. 이러한 특성으로 인해 환자 상태를 사전에 정의된 라벨에 기반하여 분류하는 지도학습 방식은 적용에 한계가 있으며, 분석 결과의 해석 또한 제한적일 수 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 고려하여, 환자 상태의 잠재적 구조를 탐색적으로 분석할 수 있는 비지도 학습 기반 접근을 채택하였다.

자기조직화 지도(Self-Organizing Map, SOM)는 입력 데이터 간의 유사성을 보존하면서 고차원 데이터를 저차원 격자 구조로 매핑하는 비지도 학습 기법이다. SOM은 경쟁 학습을 통해 유사한 특성을 가진 데이터가 인접한 위치에 배치되도록 학습되며, 이를 통해 데이터 분포와 군집 구조를 직관적으로 표현할 수 있다. 이러한 특성은 환자 상태와 같이 명확한 경계가 존재하지 않는 데이터를 분석하는 데 적합하다.

본 연구에서는 SOM 격자 크기를 환자 상태 분포의 안정적 분리를 고려하여 설정하였으며, 초기 학습률과 이웃 반경은 반복 학습 과정에서 점진적으로 감소하도록 구성하였다. 또한 입력 특징 벡터는 주요 생체신호와 임상 지표를 포함하도록 정의하여, 군집 결과가 환자 상태 변화의 특성을 반영할 수 있도록 설계하였다. 이러한 설정은 군집 구조의 안정성과 해석 가능성을 동시에 확보하기 위한 것이다.

[Fig. 2]는 SOM을 적용하여 도출된 환자 상태 군집 결과를 시각적으로 나타낸 것이다. 그림에서 인접한 위치에 분포한 환자들은 유사한 상태 특성을 가지며, 서로 다른 영역에 형성된 군집은 임상적으로 구분 가능한 상태 차이를 반영한다. 이러한 시각적 표현은 환자 상태 분포를 한눈에 파악할 수 있도록 하여, 군집 결과의 해석 가능성을 높인다.



[Fig. 2] Visualization of SOM-based patient state clustering results

4.2 FHIR 온톨로지 기반 환자 상태 의미 매핑

SOM 기반 군집화 결과는 환자 상태의 구조적 패턴을 효과적으로 도출할 수 있으나, 군집 결과 자체만으로는 임상 환경에서 직접 활용하기 어렵다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 군집화 결과를 의료 데이터 표준인 FHIR 기반 구조와 연계하여, 환자 상태를 임상적으로 해석 가능한 형태로 변환한다.

FHIR는 환자 정보, 관측 데이터, 임상 기록 등을 자원(Resource) 단위로 표현하는 의료 데이터 표준으로, 의료 정보 시스템 간 상호운용성을 지원한다. 본 연구에서는 SOM 기반 군집 결과를 FHIR 리소스와 매핑함으로써, 분석 결과를 의료 정보 시스템과 연계 가능한 구조로 표현하였다. 이를 통해 군집 결과는 단순한 데이터 분석 결과가 아니라, 임상 정보 시스템에서 활용 가능한 의미 단위로 변환된다.

군집과 FHIR 리소스 간의 매핑 과정에서는 각 군집이 나타내는 환자 상태 특성을 기반으로 해당 군집과 연관된 임상 개념을 정의한다. 예를 들어 변동성이 높은 군집은 FHIR Observation 자원의 비정상 범위와 연계될 수 있으며, 급격한 상태 변화가 관찰되는 군집은 Condition 자원과 함께 해석될 수 있다. 이러한 매핑 구조는 군집 결과가 실제 임상 판단 정보로 활용될 수 있음을 보여주며, 제안 시스템의 구현 가능성을 구체적으로 설명한다.

〈Table 1〉은 SOM 기반 환자 상태 군집과 FHIR 리소스 간의 매핑 관계를 정리한 것이다. 이를 통해 각 군집이 어떠한 임상적 의미를 갖는지, 그리고 해당 의미가 의료 데이터 표준 구조 내에서 어떻게 표현되는지를 확인할 수 있다. 이러한 매핑 구조는 분석 결과를 임상 환경에 적용하기 위한 기반을 제공한다.

www.kci.go.kr

〈Table 1〉 Mapping between SOM-based patient clusters and FHIR resources

Cluster	Patient State	FHIR Resource	Clinical Meaning
C1	Stable / low variability	Observation	Routine monitoring
C2	Moderate variability	Observation	Possible condition change
C3	High variability / abnormal	Observation	Potential risk state
C4	Irregular / sudden changes	Observation, Condition	High-risk, immediate assessment

4.3 임상 의사결정 지원을 위한 군집 결과 활용

본 연구에서 제안하는 임상 의사결정 지원은 SOM 기반 군집화 결과와 FHIR 온톨로지 매핑을 결합하여, 환자 상태를 종합적으로 판단할 수 있는 정보를 제공하는 데 목적이 있다. 군집 결과는 환자 상태를 유형화하여 보여주며, 온톨로지 매핑을 통해 각 유형의 임상적 의미를 명확히 한다.

의료진은 환자가 속한 군집과 해당 군집의 임상적 특성을 참고하여 환자 상태를 상대적으로 평가할 수 있다. 특히 군집 간의 관계와 분포를 통해 환자 상태가 어느 범위에 위치하는지를 파악할 수 있으며, 이는 단일 수치 기반 평가보다 직관적인 상태 판단을 가능하게 한다.

또한, 군집 기반 접근은 환자 상태 변화에 대한 해석에도 활용될 수 있다. 동일 환자의 상태가 시간에 따라 서로 다른 군집으로 이동하는 경우, 이는 환자 상태 변화에 대한 중요한 신호로 해석될 수 있다. 이러한 정보는 추가 검사 필요성 판단이나 치료 전략 조정과 같은 의사결정 과정에서 참고 자료로 활용될 수 있다.

FHIR 기반 구조로 표현된 군집 결과는 기존 임상 정보 시스템과의 연계를 가능하게 하여 의료진이 별도의 분석 도구 없이도 환자 상태 정보를 확인할 수 있도록 한다. 결과적으로 제안한 방법은 환자 상태 분석 결과를 임상 의사결정 과정에 자연스럽게 통합할 수 있는 구조를 제공하며, 군집의 임상적 의미 부여 기준을 명확히 함으로써 임상적 타당성을 강화한다.

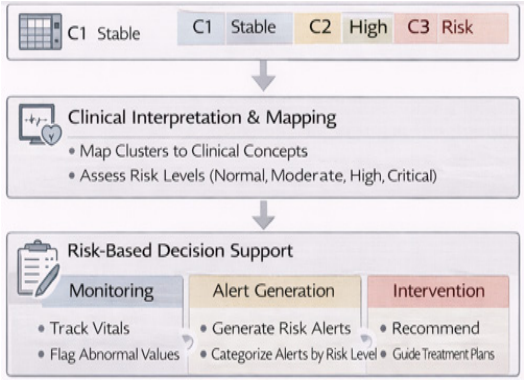
5. 실험 및 사례 적용

제안한 시스템의 유효성을 확인하기 위해 환자 상태 데이터를 기반으로 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 공개 의료 데이터 구성 방식과 유사하게 생체신호 및 임상 관측 정보를 포함한 환자 데이터를 구성하고, 시간에 따른 상태 변화와 개인 간 변동성을 반영하도록 전처리하였다. 이는 SOM 기반 군집화와 FHIR 의미 매핑 과정의 적용 가능성을 검증하기 위한 목적을 가진다.

전처리된 데이터에 SOM 군집화를 적용하여 환자 상태 패턴을 도출하였으며, 군집 분포와 경계 구조를 중심으로 각 군집의 상태 특성을 비교하였다. 본 실험은 정량적 성능 비교보다는 제안 시스템이 환자 상태 분석과 임상 의사결정 지원 과정에 활용 가능한지를 확인하는 데 초점을 두었다.

도출된 군집 결과는 FHIR 온톨로지 구조와 매핑하여 임상적 의미를 해석하였다. 각 군집은 상태 변동성과 이상 징후 가능성에 따라 구분되었으며, 해당 특성은 FHIR Observation 및 Condition 자원과 연계되어 표현되었다. 이는 군집 결과가 임상적으로 해석 가능한 정보로 활용될 수 있음을 보여준다.

[Fig. 3]은 제안 시스템 기반의 임상 의사결정 지원 흐름을 나타낸다. 군집 결과와 의미 해석 정보를 결합함으로써 의료진이 환자 상태를 단계적으로 판단할 수 있음을 확인하였으며, 군집 간 상대적 위치 정보는 환자 상태 변화 추이 분석과 유사 환자군 비교에 활용 가능함을 보였다.



[Fig. 3] Clinical decision support process

또한, 제한된 데이터 환경에서도 군집 구조와 임상 의미 간의 일관된 대응이 관찰되었으며, 이는 제안한 SOM-FHIR 통합 구조가 임상 의사결정 지원을 위한 기본 프레임워크로 활용될 수 있음을 시사한다. 다만 실제 임상 데이터 기반의 정량적 평가와 전문가 검증은 향후 연구로 남는다.

www.kci.go.kr

6. 결론

본 논문에서는 사물인터넷 환경에서 수집되는 환자 데이터를 대상으로 SOM 기반 환자 상태 군집화와 FHIR 온톨로지 매핑을 결합한 임상 의사결정 지원 시스템을 제안하였다. 제안 시스템은 환자 상태 분석 결과를 의료 데이터 표준과 연계하여 의미 기반으로 해석함으로써, 분석 결과가 실제 임상 의사결정에 활용될 수 있도록 설계되었다.

본 연구의 의의는 환자 상태 분석을 단순한 예측이나 분류 문제로 한정하지 않고, 분석 결과의 해석 가능성과 임상 활용성을 중심으로 통합 구조를 제시하였다는 데 있다. SOM 기반 군집화는 환자 상태의 잠재적 패턴을 효과적으로 도출하며, FHIR 온톨로지 매핑은 이를 임상 정보 시스템과 연계 가능한 의미 단위로 변환한다. 이를 통해 의료진은 환자 상태를 보다 직관적으로 이해하고 의사결정 과정에서 분석 결과를 참고할 수 있다.

다만 본 연구는 제한된 데이터와 시나리오 기반의 방법론 검증 단계에 해당하며, 실제 임상 데이터 기반의 정량적 성능 평가와 전문가 검증이 추가적으로 필요하다. 향후 연구에서는 실시간 IoT 데이터 연계와 질환별 온톨로지 확장을 통해 제안 시스템의 임상 적용성과 의사결정 지원 기능을 고도화하고자 한다.

REFERENCES

[1] S.Ashraf, M.Iqbal and S.Rizvi, "Internet of Things-Based Healthcare Monitoring Systems: A Review," Journal of Medical Systems, Vol.45, No.1, pp.1-15, 2021.

[2] H.Müller, J.Lee and S.Patel, "Unsupervised Machine Learning Techniques for Health Record Clustering," IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, Vol.28, No.5, pp.3450-3461, 2022.

[3] F.Martinez, L.Castro and P.Ruiz, "Patient Clustering Techniques for Electronic Health Record Data," International Journal of Medical Informatics, Vol.162, pp.104-119, 2023.

[4] T.Kohonen, "Essentials of the Self-Organizing Map," Neural Networks, Vol.37, pp.52-65, 2020.

[5] C.N.Vorisek, "Fast Healthcare Interoperability Resources for Health Research: Review of Implementation and Use Cases," JMIR Medical Informatics, Vol.10, No.7, pp.e35724-e35724, 2022.

[6] P.Fernandez-Breis, J.Martinez-Costa and R.Menarguez-Tortosa, "Semantic Interoperability in Healthcare Information Systems: A Systematic Review," Journal of Biomedical Semantics, Vol.13, No.1, pp.1-18, 2022.

[7] J.Klann, S.Hong and D.Knaup, "Clinical Decision Support with HL7 FHIR: Current Status and Challenges," Yearbook of Medical Informatics, Vol.32, No.1, pp.153-162, 2023.

[8] M.Ayaz, M.F.Pasha, T.J.Alahmadi, N.N.B.Abdullah and H.K.Alkahtani, "Transforming Healthcare Analytics with FHIR: A Framework for Standardizing Clinical Data," Healthcare, Vol.11, No.12, pp.1729-1745, 2023.

[9] G.Singh, S.Rai and M.Khan, "Integration of Self-Organizing Maps and Advanced Analytics for Healthcare Data," Health Informatics Journal, Vol.29, No.2, pp.1-18, 2023.

[10] A.Roberts and T.Wang, "FHIR and Machine Learning: A Clinical Data Pipeline Framework," Journal of Healthcare Engineering, Vol.2023, No.6, pp.1-15, 2023.

[11] P.Tabari, G.Costagliola, M.De Rosa and M.Boeker, "State-of-the-Art FHIR-Based Data Model and Structure Implementations: A Systematic Scoping Review," JMIR Medical Informatics, Vol.12, No.1, pp.1-16, 2024.

[12] R.Gazzarata, "HL7 FHIR Implementation Guides and Their Role in Healthcare Interoperability," Artificial Intelligence in Medicine, Vol.149, pp.102-114, 2024.

[13] A.Javed, "Self-Organizing Maps for Time-Series Clustering in Healthcare Applications," PLoS ONE, Vol.19, No.4, pp.1-15, 2024.

[14] D.Ali, R.Hassan and B.Singh, "FHIR-Based Data Harmonization for Multi-Institution Clinical Studies," IEEE Transactions on Big Data, Vol.10, No.1, pp.234-247, 2024.

[15] A.A.Bayor, J.Li, I.A.Yang and M.Varnfield, "Designing Clinical Decision Support Systems: A User-Centered Review of Design Characteristics and Challenges," Journal of Medical Internet Research, Vol.27, No.1, pp.e63733-e63733, 2025.

김 귀 정(Gui-Jung Kim) [정회원]

- 1994년 2월 : 한남대학교 전자계산공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 한남대학교 전자계산공학과 (공학석사)
- 2003년 3월 : 경희대학교 전자계산공학과 (공학박사)
- 2001년 9월 ~ 2017년 2월 : 건양대학교 의공학과 교수
- 2017년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 컴퓨터공학부 교수

〈관심분야〉
블록체인응용, 헬스케어정보시스템, 지능형서비스시스템

www.kci.go.kr