

인지 정렬 기반 데이터-인터페이스 매핑 프레임워크

지능형 자동 점수화 시스템을 중심으로

A Cognitive Alignment-Based Data-Interface Mapping Framework

focusing on an Intelligent Computerized Scoring System

주 저 자 : 이혜민 (Lee, Hye Min) China-Korea International Institute of Visual Arts Research,
Qingdao University of Science and Technology, China
Principal Researcher
hyeminest@gmail.com

<https://doi.org/10.46248/kidrs.2026.1.646>

접수일 2026. 02. 20. / 심사완료일 2026. 02. 27. / 게재확정일 2026. 03. 08. / 게재일 2026. 03. 30.

Abstract

Recent intelligent automated scoring systems learn nonlinear patterns from multimodal biosignals and produce probabilistic decision outputs. In real operational settings, however, these probabilistic outputs often require additional interpretation by users. This can increase cognitive burden and reduce decision consistency and responsiveness. This study identifies the interpretive gap between AI outputs and human cognitive structures as a core design problem. To address this issue, we propose a human-centered data-interface mapping framework. The framework introduces an intermediate interpretation layer that converts continuous probability values into meaning states aligned with users' judgment models. These meaning states are then systematically mapped to intuitive multisensory interface cues, such as visual and auditory signals. Through this transformation, internal computational representations are reshaped into interpretable units for users. As a result, the judgment workflow shifts from number-based interpretation to perception-based understanding. We implement the proposed framework within an intelligent automated scoring system and define the transformation process among probabilistic outputs, meaning states, and sensory cues, along with the corresponding interface response logic. The framework is evaluated using a comparative task-analysis matrix against conventional scoring procedures, scenario-based walkthroughs, and consistency checks of interface responses. The contribution of this study lies not in improving model accuracy, but in formally defining and implementing an architectural mechanism that enables AI outputs to become structured human judgment experiences. This approach provides both theoretical and practical foundations for designing human-centered intelligent scoring systems in high-risk decision-support contexts.

Keyword

Intelligent automated scoring system(지능형 자동 점수화 시스템), Human-centered AI(인간 중심 인공지능), Data-interfacemapping(데이터-인터페이스 매핑), Cognitive alignment(인지 정렬)

요약

최근 지능형 자동 점수화 시스템은 복합 생체 신호로부터 비선형 패턴을 학습하여 확률 기반 판정 결과를 산출한다. 그러나 실제 운영 환경에서는 이러한 확률 출력이 사용자에게 추가적인 해석-통합 과정을 요구함으로써 해석 부담을 증가시키고, 판단의 일관성과 응답성을 저하시킬 수 있다. 이 연구는 인공지능 출력과 인간 인지 구조 사이에서 발생하는 이러한 해석적 간극을 핵심 설계 문제로 설정하고, 이를 완화하기 위한 인간 중심 데이터-인터페이스 매핑 프레임워크를 제안한다. 제안 프레임워크는 연속적 확률 값을 사용자의 판단 모델에 부합하는 의미 상태로 추상화하는 중간 해석 계층을 도입하고, 해당 의미 상태를 시각·청각 기반의 직관적 다중 감각 인터페이스 신호로 재매핑하는 과정을 매핑 규칙의 형태로 정식화한다. 이를 통해 시스템 내부 표현(확률 및 계산 결과)이 사용자에게는 해석 가능한 의미 단위로 제공되고, 과도한 수치 해석을 요구하지 않도록 판단 흐름을 재구성한다. 또한 이 연구에서는 프레임워크를 지능형 자동 점수화 시스템에 적용하여, 확률 출력-의미 상태-감각 신호 간 변환 구조와 인터페이스 반응 논리를 구현하고, 수치 중심의 해석 과정을 시각 중심의 판단 구조로 전환하였다. 프레임워크의 설계 타당성은 기존 점수화 절차와의 비교 작업 분석 매트릭스, 대표 시나리오 기반 워크스루, 그리고 인터페이스 반응의 일관성 점검을 통해 검토하였다. 본 논문의 기여는 알고리즘 성능 개선에 국한되지 않고, 인공지능 분석 결과가 사용자 판단 경험으로 전이되는 구조적 메커니즘을 아키텍처 수준에서 정식화하고 구현했다는 점에 있다. 이는 향후 고위험 의사 결정 지원 환경에서 인간 중심 지능형 점수화 시스템의 설계 및 평가를 위한 이론적·실천적 기반을 제공할 것으로 기대된다.

목차

1. 서론

- 1-1. 연구 목적
- 1-2. 연구 방법

2. 이론적 배경

- 2-1. 확률 기반 출력과 인지 부하
- 2-2. 의미 기반 판단 구조
- 2-3. 감각 기반 정보 설계와 정신모델

3. 프레임워크 설계

- 3-1. 프레임워크 설계 개요
 - 3-2. 의미 상태 추상화 계층
 - 3-3. 감각 경험 매핑 계층
-

- 3-4. 데이터-인터페이스 매핑 프레임워크

4. 평가

- 4-1. 프레임워크 적용
- 4-2. 휴먼에러 발생 가능성의 구조적 감소
- 4-3. 판단 경험의 인지 효율성 향상
- 4-4. 종합적 평가

5. 고찰

6. 결론

참고문헌

1. 서론

인간을 대상으로 하는 지능형 자동 점수화 시스템은 생체 신호와 같은 복합 데이터를 분석하여 인간의 인지 상태 및 행동 반응을 정량적으로 추정하는 기술로 빠르게 진보하고 있다. 특히 비선형적 생리 반응 패턴을 학습함으로써 기존 규칙 기반 기법이 포착하기 어려웠던 미세한 반응 차이를 안정적으로 해석하며, 자동화된 판정 환경에서 높은 신뢰도를 제공하는 것으로 보고된다. 최근 연구에서는 지능형 자동 점수화 엔진이 대규모 실험을 통해 기술적 신뢰성을 확보했음을 입증하였다.¹⁾ 이는 실제 판정 환경에서 활용 가능한 수준의 객관적 정확도를 달성했음을 의미한다.

그러나 지능형 자동 점수화 시스템의 실질적 효과는 분석 정확도에만 의존하지 않는다. 실제 운영 환경에서 판정 결과는 인간 사용자에게 의해 해석되고 판단으로 전환되며, 이 과정에서 정보 표현 구조는 의사결정의 신속성, 신뢰도 및 오류 발생 가능성에 직접적인 영향

을 미친다. 지능형 자동 점수화 시스템의 확률 기반 출력은 분석적으로 정밀하고 풍부하지만, 인간 사용자에게는 임계값 해석, 수치 비교, 변화 추세 인식과 같은 복합적 인지 처리를 요구하여 높은 인지 부하를 유발한다.²⁾ 또한 최신 연구들은 인공지능의 높은 정확도가 오히려 사용자의 과잉 신뢰 또는 인지적 나태를 초래할 수 있음을 지적하며, 단순한 수치 제공을 넘어선 인간 중심 인터페이스 설계의 중요성을 강조한다.³⁾⁴⁾ 즉, 정확한 분석이 효율적인 판단으로 자동 연결되는 것은 아니며, 분석 결과가 인간의 인지 구조에 정렬된 방식으로 제시될 때 운영 성과가 확보된다.

-
- 2) John Sweller, Paul Ayres, Slava Kalyuga, 『Cognitive Load Theory』, Springer, 2011, pp.2-12.
 - 3) Ben Shneiderman, 『Human-Centered AI』, Oxford, 2022, pp.45-58
 - 4) Chakraborty, Suvodip, Kiefer, Peter, Raubal, Martin, 『The influence of uncertainty visualization on cognitive load in a safety- and time-critical decision-making task』, International Journal of Geographical Information Science. Vol. 38, 2024, 08, pp.1583-1610

1) Heo, Junghyun, Hwang, Layoung, 『Development of a Deep-Learning-Based Computerized Scoring Algorithm』, Sensors, Vol. 25, 2025. 04, pp.1-15

기존 연구들은 주로 알고리즘의 정확도 향상과 일반화 성능 개선에 집중해 왔고, 분석 결과가 사용자 경험 차원에서 어떻게 인지되고 판단으로 전환되는지에 대한 구조적 설계는 상대적으로 제한적이었다. 일부 시각화 개선 시도가 존재했으나 대개 분석 성능을 보조하는 수준에 머물렀다. 반면 최근 인간 중심 인공지능 연구에서는 단순한 성능 개선을 넘어 시스템 출력을 인간의 인지 구조와 정렬하는 것이 핵심 설계 과제로 부상하였다. 의사결정 연구에 따르면, 연속적 수치보다 의미적으로 구조화된 범주 신호가 빠른 판단을 유도하며,⁵⁾ 특히 시간 압박이 큰 환경에서는 감각 기반 정보 전달이 상황 인지와 대응 성과를 구조적으로 향상시킨다.⁶⁾⁷⁾ 이러한 논의는 지능형 자동 점수화 시스템에서도 확률 기반 출력을 그대로 제공하기보다, 인간이 즉각적으로 상태를 파악하고 행동으로 전환할 수 있는 의미-감각 중심의 표현 구조가 필요함을 시사한다.

이 연구는 성능 검증이 완료된 지능형 자동 점수화 시스템을 기반으로, 인공지능 분석 결과와 인간 인지 구조 간의 간극을 해소하기 위한 데이터-인터페이스 매핑 프레임워크를 제안한다. 제안된 프레임워크는 확률 값을 직관적 의미 상태로 추상화하고 이를 다중 감각 인터페이스 요소로 체계적으로 변환하는 중간 설계 계층으로 가능하다. 이 연구는 알고리즘 성능 향상이 아니라, 인공지능과 인간 사이의 해석 간극을 아키텍처 차원에서 해소하는 인지 정렬기반 경험 시스템 설계 원리를 제시한다는 점에서 학술적 차별성을 가진다.

1-1. 연구의 목적

이 연구의 목적은 지능형 자동 점수화 시스템의 확률 기반 출력이 실제 판정 환경에서 유발하는 해석 부담을 구조적으로 완화하기 위해, 확률 값을 의미 상태로 추상화하고 이를 다중 감각 인터페이스 요소로 일관되게 변환하는 데이터-인터페이스 매핑 프레임워크를 제안하는 데 있다. 이를 통해 분석 결과가 인간 사

용자에게 계산해야 하는 수치가 아니라 즉시 지각 가능한 상태 신호로 작동하도록 설계하고, 결과적으로 판단의 신속성, 일관성, 오류 저감 가능성을 높이는 인지 정렬 기반 경험 시스템 설계 원리를 제시하고자 한다. 다시 말해 이 연구는 정확도 중심의 기술 성과가 아니라, 분석 결과가 실제 의사결정으로 전환되는 경로를 재구성하는 해석-경험 아키텍처의 설계 기여를 목표로 한다.

1-2. 연구의 방법

이 연구는 다음 절차로 수행되었다. 첫째, 인지부하 이론, 의사결정 심리학, 휴먼팩터 및 인간 중심 인공지능 관련 문헌을 바탕으로 확률 기반 출력이 유발하는 인지적 한계와 해석 실패 요인을 정리하고, 지능형 자동 점수화 시스템에 요구되는 인간 중심 정보 해석 요구사항을 도출하였다. 둘째, 도출된 요구사항을 기반으로 확률 출력이 의미 상태로 재구성되고, 다시 시각, 청각 등 감각 기반 인터페이스 요소로 변환되는 과정을 매핑 규칙과 중간 해석 계층의 형태로 정식화하여 프레임워크로 설계하였다. 이는 시스템 내부 표현을 사용자에게 일관된 개념모델로 제공하고 해석 불일치를 줄이기 위한 매핑 중심 설계 원리에 기반하며, 학습 분석 시스템의 사용자 정신 모델 프레임워크 및 인공지능 시스템의 UX 디자인 원칙을 결합해 구현 논리를 보강하였다.⁸⁾⁹⁾ 셋째, 제안된 프레임워크를 성능 검증이 완료된 자동 점수화 시스템에 통합한 경험 시스템 프로토타입을 구현하고, 기존 수치 중심 출력과 대비하여 상태 인식-해석-행동 전환의 판단 흐름의 구조적 개선 가능성을 사례 기반으로 제시하였다.

2. 이론적 배경

이 연구는 지능형 자동 점수화 시스템에서 분석 정확도와 인간 판단 효율 사이에 존재하는 구조적 불일치를 핵심 문제로 설정한다. 자동 점수화 엔진은 높은

5) Gerd Gigerenzer, Wolfgang Gaissmaier, 'Heuristic Decision Making', The Annual Review of Psychology, Vol. 62, 2011. 04. pp.451-482

6) Wickens, Christopher D., Hollands, Justin G., 'Engineering psychology and human performance', Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2000, pp.49-83

7) Mica R. Endsley, 'Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems', Human Factors, Vol. 37, 1995. 03. pp.32-64

8) Koo, Jiyoung, Jo, Il-Hyun, 'A Theoretical Framework for User Mental Models in Learning Analytics Systems', Design Research, Korea Institute of Design Research Society, Vol.10, No.3 2025. 09. pp.9-21

9) D. A. Norman, 'The Design of Everyday Things: Revised and Expanded Edition', Basic Books, 2013. pp.10-31

분류 성능을 확보하더라도, 실제 운영 환경에서는 그 결과가 인간 사용자에게 전달되는 방식에 따라 의사결정 속도, 신뢰 형성, 오류 발생 가능성이 크게 달라진다. 특히 확률 기반 출력은 분석적으로 풍부한 정보를 제공하지만, 인간에게는 계산·비교·추론을 요구하는 형태로 제시되는 경우가 많아 판단 과정의 부담을 증가시킬 수 있다. 따라서 본 장에서는 확률 기반 출력이 유발하는 인지 부하의 메커니즘, 인간이 효율적으로 처리하는 의미 기반 판단 구조, 감각 기반 정보 설계와 정신모델 정렬 관점에서의 설계 원리를 통합적으로 정리한다.

2-1. 확률 기반 출력과 인지 부하

인지 부하 이론에 따르면 인간의 작업 기억은 제한된 처리 용량을 가지며, 정보가 계산, 비교, 규칙 적용을 요구할수록 수행 성과는 저하되고 오류 가능성은 증가한다. 확률 기반 출력의 대표적 문제는 정확한 수치가 제공된다는 점이 아니라, 그 수치가 사용자의 판단으로 전환되기 위해 추가적인 인지적 변화를 요구한다는 데 있다. 예를 들어 사용자는 수치가 의미하는 위험 수준을 추정하고, 임계값과 비교하여 상태를 분류하며, 시간 변화 추세를 해석하고, 다중 지표가 동시에 제시될 경우 우선순위를 결정해야 한다. 이 과정은 단순 정보 수용이 아니라 연산적 해석에 가깝다.

특히 고위험·시간 압박 환경에서는 이러한 해석 비용이 더욱 치명적으로 작동한다. 확률 값이 높더라도 사용자가 그 의미를 즉시 확신하기 어려우면 확인·재확인 행위가 증가하고, 반대로 수치 해석을 생략하면 과잉 신뢰 또는 인지적 나태가 발생할 수 있다. 즉 확률 기반 출력은 정밀함과 즉시성이 동시에 달성되기 어렵고, 결과적으로 판단 지연, 해석 불일치, 사용자 간 편차를 구조적으로 확대하는 요인이 될 수 있다. 이러한 한계를 줄이기 위해서는 확률 값을 그대로 노출하기보다, 인간의 인지 구조가 빠르게 처리 가능한 형태로 중간 변환을 제공하는 설계가 요구된다.

2-2. 의미 기반 판단 구조

의사결정 심리학 및 위험 인식 연구는 인간이 연속적 수치보다 의미적으로 구조화된 범주를 더 효율적으로 처리한다는 점을 반복적으로 보고해 왔다. 확률 백분율은 해석이 유연한 만큼 오해와 판단 왜곡을 유발하기 쉽다. 반면 범주형 신호는 판단의 목표를 명확히 하고 행동 선택과 직접적으로 연결되는 경향이 있다.

이는 인간의 판단이 수치 자체를 계산하기보다, 상황을 어떤 상태로 볼 것인가를 먼저 결정한 뒤 그에 맞춰 행동 전략을 선택하는 구조에 가깝기 때문이다.

따라서 지능형 자동 점수화 시스템에서 의미 기반 판단 구조를 도입한다는 것은 단순히 정보를 줄이는 것이 아니라, 확률 기반 출력을 상태 인식의 관점으로 재조직하는 일이다. 즉 수치로 된 확률값을 제공하는 대신, 그 값이 의사결정 목표와 연결되는 의미 상태로 추상화하고, 사용자에게는 상태 단위로 제공함으로써 판단 경로를 단축하는 것이다. 이러한 추상화는 또한 사용자 간 해석 편차를 줄이고, 팀 기반 운영 환경에서 공통의 판단 기준을 형성하는 데 기여할 수 있다. 결과적으로 의미 기반 구조는 확률의 정보를 폐기하는 것이 아니라, 확률을 인간 판단의 상태 및 범주로 변환하여 의사결정 효율을 높이는 설계 전략으로 이해될 수 있다.

2-3. 감각 기반 정보 설계와 정신모델

의미 기반 판단 구조가 상태 단위로의 추상화라면, 감각 기반 정보 설계는 그 상태를 즉시 지각 가능한 신호로 변환하는 단계에 해당한다. 판단 환경 연구는 초기 인식 단계의 효율이 전체 의사결정 성과를 좌우하며, 특히 시간 압박이 큰 상황에서 시각·청각과 같은 감각 신호는 수치 정보보다 빠른 상황 인지를 가능하게 하고 인지 부하를 감소시키는 것으로 보고된다. 항공, 의료, 산업 안전 영역에서도 수치의 직접 해석보다 의미화된 경고 신호가 반응 속도를 높이고 오류율을 낮추는 방식으로 성과를 향상시켜 왔다. 이는 감각 기반 신호가 추가 해석을 요구하지 않는 형태로 사용자의 인지를 촉발하기 때문이다. 표 1은 수치 표시와 감각 신호의 차이가 반응 속도, 오류율, 상황 인지에 미치는 효과를 분야별로 요약한다.

[표 1] 정보 표현에 따른 인지적 효과 비교 사례

적용 분야	수치 기반 정보 표현 방식	감각 기반 정보 표현 방식	인지적 효과
항공	고도, 속도 수치	색상 경고, 점멸 시각 신호	반응 속도 향상, 오류율 감소
의료	생체 측정 수치, 연속 파형	상태 기반 사청각 신호	상황 인지 정확도 향상
산업	센서 측정 수치	위험 단계 사청각 신호	즉각적 대응 행동 유도
위험 정보	확률값 제시	범주형(안정/주의/위험) 표현	이해도 및 판단 일관성 향상

한편 감각 기반 설계는 단지 반응 속도만의 문제가 아니라, 사용자가 시스템을 어떻게 이해하는 지에 대한 정신모델 형성과의 긴밀히 연결된다. 사용자는 시스템이 무엇을 보고 무엇을 판단하는지에 대한 내부 모델을 구성하며, 이 모델이 출력 표현 구조와 불일치할수록 혼란, 불신, 또는 맹신이 발생한다. 인간 중심 인공지능 연구는 이러한 문제를 줄이기 위해 시스템의 출력이 사용자가 이해 가능한 구조로 제시되어야 하며, 사용자가 상태를 해석하고 통제감을 유지할 수 있도록 설계되어야 한다고 강조한다. 따라서 감각 기반 인터페이스는 단순한 시각적 장식이 아니라, 확률, 의미 상태, 감각 신호로 이어지는 변환 과정이 사용자 정신모델에 일관되게 연결되도록 만드는 정렬 장치로 기능해야 한다.

요컨대 지능형 자동 점수화 시스템에서 인간 중심 정보 설계란, 확률 기반 분석 결과를 의미 상태로 재구성하고, 이를 감각 기반 신호로 체계적으로 변환하여, 사용자의 정신모델과 정렬된 방식으로 전달하는 통합 구조를 의미한다. 이 연구는 이러한 관점을 바탕으로 다음 장에서 데이터-인터페이스 매핑 프레임워크의 설계 원리와 구조를 제안한다.

3. 프레임워크 설계

본 장은 인공지능의 확률 기반 출력과 인간 판단 경험 간의 구조적 불일치를 해소하기 위한 인지 정렬 기반 데이터-인터페이스 매핑 프레임워크를 제시한다. 제안 프레임워크는 자동 점수화 및 고위험 의사결정 지원 시스템에 적용 가능한 범용 설계 구조로 정의되며, 이 연구에서는 이를 지능형 자동 점수화 시스템에 구현하여 구체적인 작동 메커니즘을 설명한다.

본 프레임워크는 두 개의 핵심 계층으로 구성된다. 첫째, 의미 상태 추상화 계층은 지능형 자동 점수화 엔진이 산출하는 연속 확률 값을 인간의 판단 모델에 정렬된 의미 상태로 변환한다. 둘째, 감각 경험 매핑 계층은 의미 상태를 시각·청각 등의 다중 감각 인터페이스 신호로 변환하여 사용자가 계산 없이 즉각적으로 위험 수준을 지각하고 판단할 수 있도록 한다. 따라서 확률 출력은 사용자에게 직접 노출되는 최종 결과가 아니라 중간 데이터로 처리되며, 사용자에게는 의미적으로 구조화된 판단 콘텐츠만 전달된다.

3-1. 프레임워크 설계 개요

지능형 자동 점수화 시스템은 복합 생체 신호로부터 비선형 패턴을 학습하여 고정밀의 확률 기반 판정 결과를 산출할 수 있으나, 확률 값의 직접 제시는 실제 운영 환경에서 사용자에게 계산 중심의 해석 부담을 유발하여 판단의 즉시성과 효율성을 저해할 수 있다. 인지 부하 이론은 수치 해석과 같은 계산 중심 처리 과정이 판단 정확도 및 반응 속도에 부정적 영향을 미칠 수 있음을 설명하며, 선행 연구는 인간이 연속적인 확률 수치보다 의미적으로 구조화된 범주-상태 신호를 더 효율적으로 처리함을 보고해 왔다.

이에 이 연구는 인공지능의 확률 기반 출력과 인간 판단 경험 사이에 해석 계층을 삽입하는 설계 전략으로서 데이터-인터페이스 매핑 프레임워크를 구성하였다. 본 프레임워크의 목표는 확률 값을 시각적으로 보기 좋게 표현하는 수준이 아니라, 분석 정보가 인간 인지 구조 안에서 해석되고 판단으로 전환되는 경로 자체를 설계함으로써 분석 신뢰성과 판단 효율성을 동시에 확보하는 데 있다.¹⁰⁾

이러한 목표를 위해, 프레임워크는 연속 확률 값을 의미 상태로 변환하는 추상화 단계와 의미 상태를 직관적 다중 감각 신호로 변환하는 경험 매핑 단계로 구성되며, 두 단계가 결합된 파이프라인이 인지 정렬을 구현한다.

3-2. 의미 상태 추상화 계층

지능형 자동 점수화 시스템은 생체 신호 패턴을 학습하여 기만 가능성에 대한 연속적 확률 값을 산출한다. 이러한 출력은 정밀하지만 인간 사용자에게는 즉각적인 지각 정보라기보다 해석을 요구하는 인지 부하 유발 정보로 작용한다. 이에 이 연구는 확률 출력과 판단 경험 사이에 의미 상태 추상화 계층을 삽입하여, 연속적 수치를 인간 인지 구조에 적합한 상태 기반 정보로 변환하는 구조를 도입하였다.

그림 1과 같이 의미 상태 추상화 계층은 정상, 주의, 고위험의 범주로 구성되며, 이는 인간 판단 체계가 통계적 연속 값의 비교보다 상태 인식에 최적화되어 있다는 선행 연구에 근거한다. 본 계층은 정보를 단순히 축소하는 것이 아니라, 인간 인지 구조에 정렬된 형

10) Horvitz, Eric, 'Principles of mixed-initiative user interfaces', in Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 1999. 05. pp.159-166.

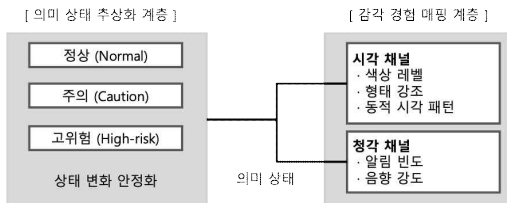
태로 분석 결과를 재구조화하는 중간 계층으로 기능한다. 또한 의미 상태 변화는 확률 출력의 순간적 변동이 즉각적인 판단 전환으로 이어지지 않도록 설계되었다. 상태 전환은 일정 수준 이상의 판단 변화가 지속적으로 관측될 때에만 반영되도록 구성함으로써, 확률 값의 미세한 변동으로 인한 경험 신호의 과도한 변화와 사용자 혼란을 방지하고 판단 과정의 일관성과 신뢰성을 유지하도록 하였다. 결과적으로 의미 상태 추상화 계층은 분석 정확성을 유지하면서도 인간 판단 환경에서 인지 효율성과 경험 안정성을 동시에 확보하는 구조적 해석 메커니즘으로 작동한다.



[그림 1] 의미 상태 추상화 계층

3-3. 감각 경험 매핑 계층

추상화된 의미 상태 정보는 다시 사·청각적 인터페이스 요소로 변환된다. 휴먼팩터 연구는 감각적 신호 전달이 상황 인지 정확도와 반응 속도를 유의미하게 향상시키는 입증해 왔으며, 인간 중심 디자인 이론은 직관적 피드백 메커니즘이 판단 오류를 감소시키는 핵심 원리임을 강조한다. 이 연구는 위험 수준에 따라 색상, 형태, 동적 패턴, 청각 알림의 강도를 차별화하는 다중 감각 경험 신호 구조를 설계하였다. 이는 복잡한 수치 해석 없이도 판정 상태를 즉각적으로 인식하게 함으로써 인지 효율성을 구조적으로 향상시킨다. 의미 상태가 다중 감각 요소로 변환되는 매핑 구조는 그림 2에 제시하였다.

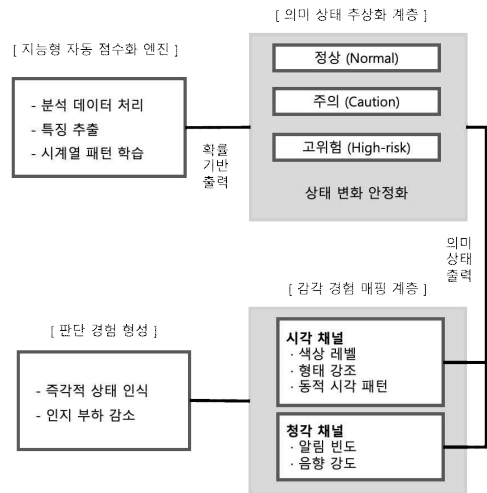


[그림 2] 감각 경험 매핑 계층

3-4. 데이터-인터페이스 매핑 프레임워크

제안된 프레임워크는 인공지능 분석 단계와 인간 판단 단계를 하나의 연속적 경험 파이프라인으로 통합하는 구조적 설계 접근이다. 이러한 통합 아키텍처는 사용자에게 전달되는 정보의 양을 물리적으로 늘리는 것이 아니라, 정보가 인간 인지 구조 내에서 해석되는 경로를 설계하는 것에 집중한다.

이는 정보 해석 구조의 설계가 시스템의 실질적 활용도와 사용자 경험 성과를 결정짓는 핵심 변수임을 강조한 선행 연구의 관점과 일치한다. 확률 출력은 사용자에게 직접 노출되지 않는 중간 데이터로 처리되며, 의미 상태 및 감각 신호를 통해 재구성된 판단 정보만이 사용자 경험(UX)으로 전달된다. 이러한 구조는 알고리즘의 정량적 판단과 인간의 직각 중심 판단 체계를 구조적으로 정렬함으로써, 기존 지능형 자동 점수화 시스템이 노출했던 인지 병목 문제를 근본적으로 해소하고 인간과 인공지능 간의 협업 효율성을 극대화한다. 전체 인지 정렬 기반 데이터-인터페이스 매핑 프레임워크 구조는 그림 3과 같다.



[그림 3] 인지 정렬 기반 데이터-인터페이스 매핑 프레임워크

4. 평가

본 장에서는 제안된 지능형 자동 점수화 시스템의 효과를 분석 정확성 확보와 운영 구조 개선 관점에서 종합적으로 평가한다. 먼저 지능형 자동 점수화 시스템

의 성능을 정량적 지표를 통해 검증하고, 이어 자동화된 판정 파이프라인과 의미 기반 인터페이스 매핑 구조가 판정 과정의 효율성과 신뢰성에 미치는 영향을 구조적으로 분석한다. 이를 통해 이 연구가 제안하는 경험 시스템 아키텍처가 기술적 신뢰성과 운영 안정성을 동시에 확보함을 입증한다.

4-1. 프레임워크 적용

제안된 인간 중심 해석 프레임워크의 구조적 타당성과 운영 가능성을 검증하기 위해, 이 연구에서는 선행 연구를 통해 성능이 검증된 지능형 자동 점수화 엔진을 적용 사례로 활용하였다. 해당 엔진은 대규모 생체 신호 데이터를 활용한 교차검증 실험에서 재현율 0.9681 ± 0.0314 , 정밀도 0.9700 ± 0.0321 , F1-score 0.9683 ± 0.0171 을 달성함으로써 기존 자동 점수화 시스템 대비 유의미한 성능 향상을 입증하였다. 분석 엔진은 피검자의 생체 데이터를 기반으로 0.00에서 1.00 사이의 기만 확률을 산출한다. 이러한 성능 지표는 이 연구의 해석 프레임워크가 신뢰 가능한 확률 기반 분석 결과를 전제로 작동함을 보장하는 조건적 기반에 해당한다. 따라서 본 절의 초점은 알고리즘 성능 검증이 아니라, 확보된 확률 출력이 인간 판단 경험으로 어떻게 구조적으로 전환되는가에 있다. 이 연구는 이를 인간 중심 판단으로 전환하기 위해 표2와 같은 매핑 구조를 적용하였다

[표 2] 데이터-인터페이스 매핑 프레임워크

분석 상태	의미적 해석	시각적 매핑	청각적 매핑	인지적 목표
안정	이상 반응 없음. 안정 상태.	Green: 정적인 원형, 부드러운 움직임	Silence: 배경음 없음	모니터링 부담 최소화
주의	유의미한 동요 감지. 관찰 필요.	Yellow: 삼각형 기호, 중간 빈도 점멸	Beep: 단발성 알림	주의 자원 할당 유도
위험	강력한 이상 신호. 즉각 판단.	Red: 굵은 X 기호, 빠른 동적 패턴	Alert: 고주파 반복	최 우선 의사결정 지원

표 2는 이 연구에서 제안한 데이터-인터페이스 매핑 프레임워크가 실제 자동 점수화 출력에 적용되는 해석 구조를 구체적으로 구현한 사례를 나타낸다. 이는 확률 기반 분석 결과를 의미 상태로 추상화한 후, 다중

감각 경험 신호로 체계적으로 변환하는 인지 정렬 메커니즘의 핵심 설계 요소를 구성한다.

4-2. 휴먼에러 발생 가능성의 구조적 감소

기존 시스템의 구조에서는 신호 구간 선택 오류, 점수 입력 실수, 계산 착오, 그리고 피로 누적에 따른 해석 편차가 필연적으로 발생할 수 있다. 이러한 오류는 개별 검사자의 능력 문제라기보다 인간이 계산 중심 판단 구조를 지속적으로 수행해야 하는 시스템 설계의 구조적 한계에서 기인한다.

제안된 시스템은 확률 기반 자동 분석과 의미 상태 변환 계층을 통해, 기존 절차에서 오류 가능성이 높았던 수기 계산-수동 입력-반복적 해석 단계를 구조적으로 대체한다. 특히 의미 상태 추상화 계층은 연속 확률 값의 단기 변동을 시간적으로 안정화하여, 인터페이스 신호가 미세한 변동에 과도하게 반응하는 현상을 억제하고 일관된 판단 기준이 유지되도록 설계되었다.

[표 3] 기존 시스템과 제안 시스템 간 운영 구조 비교

항목	기존 시스템 (검사관 중심 절차)	제안 시스템 (자동화+인지정렬 절차)
신호 구간 처리	(1) 질문 이벤트 확인 (2) 관련/비교 질문 구간 수동 지정 (3) 각 채널에서 분석 구간 재조정/보정 (4) 아티팩트 구간 제외	(1) 질문 이벤트 확인 (2) 자동 전처리(필터/기준선/정규화) (3) 자동 구간화(세그먼트 생성) + 품질 플래그
분석 방식	(1) 채널별 파형 시각적 판독 (2) 반응 크기/형태 비교 (3) 질문 간 비교 수행	(1) 딥러닝 기반 비선형 패턴 학습 (2) 세그먼트 단위 확률/점수 산출
점수 산출	(1) 질문별 점수 부여 (2) 채널별 점수 합산 (3) 수기 기록 (4) 총점 계산	(1) 점수 자동 산출 (2) 절차 단위 자동 종합
상태 판단 (해석)	(1) 총점 기준 판정 (2) 검사관 경험 기반 보정/해석(경계값에서 발생) (3) 보고서 서술은 수기 작성	(1) 확률에서 의미 상태 자동 변환 (2) 근거(핵심 구간) 요약 자동 생성(음선)
인간 개입 단계 (핵심)	최소 6~9단계: ① 질문/마커 확인 ② 구간 지정 ③ 채널별 보정 ④ 아티팩트 제외 ⑤ 파형 판독 ⑥ 질문쌍 비교 ⑦ 점수 부여 ⑧ 합산/판정 ⑨ 기록/보고	1~2단계: ① 세션 확인/품질 검토 검토 ② 결과(의미 상태+근거) 검토 및 필요 시 재 분석

표 3의 절차 비교에서 확인되듯, 인지 정렬 기반 데이터-인터페이스 매핑 프레임워크를 적용하면 기존 시스템에서 검사관이 수행하던 다수의 작업 단위(구간 지정, 채널별 보정, 점수 산출, 합산 및 기록 등)가 자동화 흐름으로 통합되며, 인간 개입 지점은 전체 절차 기준으로 6~9단계에서 1~2단계 수준에서 축소될 수 있다. 이에 따라 반복 수행 과정에서 발생할 수 있는 입력-계산-해석 편차의 리스크가 구조적으로 감소한다. 이러한 변화는 자동화 기술 자체의 결과라기보다, 확률 기반 해석 부담이 의미 상태 추상화 계층을 통해 판단 가능한 콘텐트 형태로 재구성되면서 기존의 인지 병목이 설계적으로 해소된 결과로 이해할 수 있다.

4-3. 판단 경험의 인지 효율성 향상

기존 판정 환경에서는 검사자가 연속적인 확률 수치와 복잡한 생체 신호 파형을 동시에 해석해야 했으며, 이는 지속적인 작업기억 부하를 요구하는 계산 중심 판단 구조에 해당한다. 인지 부하 이론에 따르면 이러한 정보 처리 방식은 판단 정확도를 저하시킬 뿐 아니라 반응 지연을 유발할 수 있다.

이 연구에서 제안한 해석 프레임워크는 확률 기반 분석 결과를 의미 상태로 추상화하고 이를 감각 기반 경험 신호로 전환함으로써 계산 중심 판단을 지각 중심 판단으로 전환하였다. 색상 변화, 형태적 강조 및 청각 알림은 판정 상태를 즉각적으로 인식 가능하게 하며, 이는 상황 인지 이론에서 강조하는 초기 인식 단계의 중요성과도 일치한다. 비록 이 연구는 사용자 반응 시간 측정과 같은 행동 실험을 포함하지 않았으나, 판단 과정에서 요구되는 계산 단계 제거와 인간 개입 감소라는 구조적 변화는 인지 효율성 향상의 논리적 근거를 제공한다.

4-4. 종합적 평가

이상의 결과는 제안된 경험 시스템이 단순히 자동 점수화 기술을 적용한 도구가 아니라, 분석 결과가 인간 판단 경험으로 전환되는 구조를 근본적으로 해석 프레임워크의 적용 결과임을 보여준다. 선행 연구에서 검증된 지능형 자동 점수화 시스템은 기술적 신뢰성을 제공하며, 자동화된 운영 흐름은 판정 일관성과 효율성을 향상시킨다. 더 나아가 의미 중심 해석 구조와 감각 기반 인터페이스 설계는 확률 출력이 인간 인지 체계에 정렬된 판단 경험으로 변환되도록 한다.

따라서 이 연구의 기여는 알고리즘 성능 개선이 아

니라, 인공지능 분석과 인간 판단 사이의 구조적 간극을 해소하는 경험 시스템 아키텍처 설계에 있다.

5. 고찰

이 연구는 지능형 자동 점수화 엔진을 의미 중심 데이터-인터페이스 매핑 프레임워크와 통합함으로써, 지능형 자동 점수화 시스템을 단순한 기술 중심 분석 도구에서 인간 중심 판단 지원 시스템으로 확장하였다. 기존 연구가 주로 분류 정확도 향상과 모델 성능 최적화에 초점을 두었다면, 이 연구는 확률 기반 분석 결과가 인간 인지 체계 내에서 어떻게 해석되고 의사결정으로 전환되는지를 아키텍처 차원에서 재구성했다는 점에서 차별성을 갖는다. 즉, 성능이 확보된 분석 결과를 더 정확하게 만드는 것이 아니라, 그 결과가 실제 운영 맥락에서 오류 없이, 빠르게, 일관되게 판단으로 연결되도록 하는 해석 구조를 설계의 대상으로 삼았다.

핵심 논점은 다음과 같다. 첫째, 지능형 자동 점수화 시스템의 성과는 알고리즘 출력 자체가 아니라 출력이 사용자 판단으로 전환되는 경로에 의해 결정된다. 확률값은 통계적으로 정밀하지만, 인간은 연속적 수치를 계산적으로 해석하기보다 의미 범주와 감각 신호를 통해 상황을 빠르게 파악한다. 이 연구는 이 분석-인지 간 간극을 인지 정렬 문제로 정의하고, 확률값을 의미 상태로 추상화한 뒤 감각 기반 신호로 연결하는 중간 설계 계층을 제안하였다. 이는 알고리즘 성능 개선과 독립적으로, 이미 확보된 분석 결과가 인지 부하와 해석 편차 없이 작동하도록 만드는 설계 전략으로 해석될 수 있다.

둘째, 이 연구의 기여는 인터페이스 표면의 시각화 개선이 아니라 아키텍처 수준의 설계 개입에 있다. 기존의 많은 개선 시도는 시각적 표현을 보완하는 방식으로 이루어졌으나, 이 연구는 확률 출력과 사용자 경험 사이에 '의미 상태 추상화 계층'을 명시적으로 삽입함으로써 문제를 구조적으로 해결하였다. 이 계층은 연속 확률을 운영 맥락에 적합한 상태 단위로 재조직하고, 이를 다중 감각 인터페이스 요소로 일관되게 매핑함으로써 분석 단계와 경험 단계가 단절되지 않는 연속 파이프라인을 형성한다. 결과적으로 4장에서 확인된 운영 구조 변화와 판단 경험의 효율성은 개별 알고리즘의 추가 성능 향상에서 비롯된 것이 아니라, 출력 해석의 구조가 재설계되며 발생한 구조적 효과로 설명될 수 있다.

셋째, 이 연구가 행동 실험을 통해 사용자 반응의 통계적 차이를 직접 입증하지 않았다는 한계는, 이 연구가 설정한 성과 정의와 연구 전통의 관점에서 재해석될 필요가 있다. 이 연구는 사용자 반응의 사후 측정 이전 단계에서, 시스템 표현 구조와 인간 인지 메커니즘 간의 정렬 자체를 핵심 설계 성과로 규정한다. 이미 지능형 자동 점수화 엔진의 판정 성능을 정량적으로 검증하여 기술적 신뢰성을 확보한 상태에서, 그 출력을 인간 인지 구조에 맞춰 재조작하는 아키텍처 제안은 인간 중심 지능형 시스템 디자인의 이론적·실천적 기반을 제공한다. 이는 설계 구조 자체를 지식 산출의 핵심 결과로 간주하는 Research through Design 전통과 정합되며, 이 연구의 기여가 경험 구조 설계라는 이론적 산출물에 있음을 학술적으로 뒷받침한다.¹¹⁾

요컨대, 이 연구는 정확한 모델의 제안이 아니라 정확한 결과가 인간 판단으로 작동하는 방식을 설계 대상으로 삼음으로써, 지능형 자동 점수화 시스템 연구의 기여 지점을 성능 중심 최적화에서 인지 정렬 기반 아키텍처 설계로 확장하였다. 이는 향후 자동 판정 시스템이 실제 운영 환경에서 신뢰 가능한 판단 지원 도구로 기능하기 위해 요구되는 설계 과제를 명확히 제시한다는 점에서 학술적 의미를 갖는다.

6. 결론

이 연구는 지능형 자동 점수화 엔진과 의미 중심 데이터-인터페이스 매핑 프레임워크를 통합한 아키텍처를 제안하였다. 제안된 시스템은 비선형 생체 신호를 정밀하게 분석하는 자동 점수화 엔진과, 그 확률 기반 출력이 실제 판단으로 작동하도록 의미 상태 및 다중 감각 신호로 변환하는 중간 해석·표현 계층을 결합함으로써, 분석 정확성에 더해 사용자 관점의 인지 효율을 함께 확보하는 구조를 제시하였다.

이 연구의 핵심 기여는 알고리즘 성능의 추가적 향상 자체가 아니라, 인공지능 분석 결과가 인간의 판단 경험으로 전환되는 경로를 아키텍처 수준에서 설계하고 구현함으로써 지능형 자동 점수화 시스템의 설계 범위를 확장한 데 있다. 즉, 이 연구는 정확한 결과의 산출

을 넘어 정확한 결과가 오류 없이 이해되고 일관된 행동으로 연결되게 하는 조건을 설계 대상으로 전환하였고, 이를 통해 인지 정렬 기반 경험 시스템 디자인의 패러다임을 제시하였다.

이러한 관점은 확률 기반 인공지능 판단이 필수적인 고위험 의사결정 환경인 위험 예측, 안전 경보 시스템 등에서 특히 유효하다. 향후 연구에서는 제안된 매핑 규칙의 일반화 가능성과 도메인별 상태 정의의 표준화, 그리고 사용자팀 단위 운영 환경에서의 판단 성과 검증을 통해, 이 연구가 제시한 인지 정렬 기반 설계 원리가 다양한 응용 영역으로 확장될 수 있음을 보다 체계적으로 확인할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. John Sweller, Paul Ayres, Slava Kalyuga, 『Cognitive Load Theory』, Springer, 2011
2. Ben Shneiderman, 『Human-Centered AI』, Oxford, 2022.
3. Wickens, Christopher D., Hollands, Justin G., 『Engineering psychology and human performance』, Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2000.
4. Heo, Junghyun, Hwang, Layoung, 'Development of a Deep-Learning-Based Computerized Scoring Algorithm', Sensors, 2025.
5. Chakraborty, Suvodip, Kiefer, Peter, Raubal, Martin, 'The influence of uncertainty visualization on cognitive load in a safety- and time-critical decision-making task', International Journal of Geographical Information Science. 2024.
6. Gerd Gigerenzer, Wolfgang Gaissmaier, 'Heuristic Decision Making', The Annual Review of Psychology, 2011.
7. Mica R. Endsley, 'Toward a Theory of

11) Zimmerman, John, Forlizzi, Jodi, Evenson, Shelley, 'Research through design as a method for interaction design research in HCI', in Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2007. 04. pp.493-502

- Situation Awareness in Dynamic Systems', Human Factors, 1995.
8. D. A. Norman, 『The Design of Everyday Things: Revised and Expanded Edition』, Basic Books, 2013.
 9. Koo, Jiyong, Jo, Il-Hyun, 'A Theoretical Framework for User Mental Models in Learning Analytics Systems', Design Research, Korea Institute of Design Research Society, 2025.
 10. Horvitz, Eric, 'Principles of mixed-initiative user interfaces', in Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 1999.
 11. Zimmerman, John, Forlizzi, Jodi, Evenson, Shelley, 'Research through design as a method for interaction design research in HCI', in Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2007.