

원자력발전소 주제어실에서의 순차적 작업을 위한 분석적 사용자
인터페이스 평가 방법에 관한 개념

Concepts of Analytical User Interface Evaluation Method
for Continuous Work in NPP Main Control Room

이성진, 허균영, 장순홍
한국과학기술원
대전광역시 유성구 구성동 373-1

요 약

본 논문은 차세대 원자력발전소 주제어실에 사용될 컴퓨터 기반의 사용자 인터페이스에 대한 분석적 평가방법에 대한 개념적 연구 내용을 기술한다. 사용자 인터페이스는 크게 정적인 인터페이스와 동적인 인터페이스로 구분할 수 있다. 기존의 평가 및 설계 방법은 대부분 정적인 인터페이스에 대해서 수행되어 왔다. 하지만 복잡한 시스템의 제어를 위해서는 동적인 인터페이스가 유용하며, 이에 대한 적절한 평가방법은 많지 않다. 따라서 사용자 인터페이스의 인지적 부담과 유사성을 기준으로 하여 동적인 인터페이스에서의 평가 방법이 순차적 작업에 적합하다.

Abstract

This paper describes a conceptual study of analytical evaluation method for computer-based user interface in the main control room of advanced nuclear power plant. User interfaces can classify them into two groups as static interface and dynamic interface. Existing evaluation and design methods of user interface have been mainly performed for the static user interface. But, it is useful for the dynamic user interface to control the complex system, and proper evaluation method for this is seldom. Therefore an evaluation method for dynamic user interface is proper for

continuous works by standards of the load of cognition and the similarity of an interface.

I. 서론 및 배경

원자력 발전소의 주제어실의 설계는 디지털화 되고 있다. 이런 현상으로 인해 주제어실의 운전원 작업반의 모습도 예전과는 다른 모습으로 설계되고 있다. 기존의 주제어실 시스템이 아날로그 방식이었다면, 향후 개발될 차세대 원전의 시스템은 디지털 방식이라고 할 수 있다. 디지털 방식은 주로 컴퓨터 기반으로 디스플레이 방법을 채택하고 있다.(그림 1) 따라서 운전원이 느끼는 가장 큰 차이점은 작업 방식의 변화이다. 작업 방식이 바뀌었다고 해도 운전원이 수행하는 작업에서의 목적은 변화되지 않는다. 본 논문은 향후 적용될 주제어실의 인터페이스에 대하여 운전원에게 적합한 사용자 인터페이스 평가 방법에 관한 개념적인 연구 내용을 기술한다.

사용자 인터페이스의 평가 방법은 크게 5가지로 나눌 수 있는데(표 1), 간단하게 생각하면 실험적 접근과 이론적 접근으로 나눌 수 있다. 실험적 접근은 운전원이 실제로 작업하는 환경을 실험실 내에 구축하여 테스터를 수집하여 데이터를 직접 취득하여 분석하는 방법이다. 이론적 접근은 운전원에게 인지적으로 중요한 요소들을 모델로 수립하여 그에 맞는 논리 요소를 구성하여 정량적 혹은 정성적 평가를 수행하는 방법이다. 본 논문의 평가 방법은 이론적 접근법에 기초하였으며, 정량적 결과를 표출하는 방법을 구성하는 개념을 기술한다.

이론적 접근법은 다음의 몇 가지 부류로 나뉜다.

- 인지적 리허설(Cognitive walkthrough) : 사용자의 생각과 행동을 가정하여 형식화하는 방법이다. 이와 같은 평가를 수행하기 위해서는 인터페이스의 묘사나 프로토타입, 작업의 묘사, 행동 리스트, 사용자의 경험적 수준에 대한 지식 등이 필요하다. 이 평가 방법을 통하여 얻을 수 있는 것은 운전원의 행동 양식과 그에 대한 피드백이다.
- 행동 분석(Action Analysis) : 사용자가 작업을 수행하는데 필요한 시간을 비교적 정확하게 예측하기 위한 방법이다. 평가를 수행하는 규모별로 Beta -Chi design, Open System task Analysis, Hierarchical Task Analysis, GOMS, Cognitive Complexity Theory 등이 있다.
- 발견적 평가(Heuristic Evaluation) : 인터페이스에 대한 간단한 질문들에 기초하여 휴리스틱을 구성하는 방법이다. Nielson과 Molich가 인터페이스에 대해 10가지 휴리스틱을 제안하였다.

순차적인 작업에 대해서 평가를 하는 것은 인지적 리허설에 해당될 수 있지만, 본 논문에서는 컴퓨터기반의 디스플레이 장치를 사용자 인터페이스라고 가정하고 그에 적용될 수 있는 행동 분석법적 부류의 방법을 제안하고자 한다. 또한 제안된 방법을 이용하여 기존에 설계된 인터페이스에서 운전원이 작업을 하는데 최적의 순차적 작업과 기존의 인터페이스 평가 비용의 감소 효과에 대해서도 기술한다.

II. 개발 이론

II.1. 인터페이스 모델링

이론적 접근법에서 가장 다루기 힘든 부분은 인터페이스 모델링 방법이다. 인터페이스를 어떻게 모델링 하였는가가 평가 방법이 어떻게 구성될 수 있는가를 제한한다. 기존의 연구에서는 인터페이스가 있다고 할 때 그것이 포함하고 있는 정보들을 수동적으로 추출하여 이를 기반으로 평가를 수행하는 방법을 이용하였다. 이런 방법의 단점은 인간이 인지하는 인터페이스와 모델링 된 인터페이스의 유사성의 수준일 것이다. 유사성이 높다는 것은 인간이 인지하는 것에 근접된 인터페이스를 평가 방법이 제안한다고 볼 수 있다. 인간이 인지하는 것을 직관적으로 표현하기 위해서는 인간의 정보처리(그림 2) 결과와 유사한 방법을 채택해야 한다. 인간의 인지 시스템은 입력된 이미지를 상징화된 정보로 받아들인 다음, Long-term Memory에 저장된 정보를 활용하여 입력된 정보를 어떻게 해석/반응 할 것인지를 결정한다. 본 논문은 이를 위하여 패턴인식을 이용한다. 인터페이스의 이미지를 취득하여 이것을 패턴인식 처리를 하는 것은 인간이 인터페이스를 뇌에 기억시키는 과정과 매우 유사하다고 볼 수 있다. 이렇게 패턴인식 처리된 인터페이스에서 주요 인자들을 추출할 수 있게 된다. 이것은 인간정보 처리 모델을 참조하여 제안한 것이다. 패턴인식을 하는 또 다른 중요한 이유는 인간이 보는 인터페이스라는 것은 아날로그 데이터를 의미하는 것이다. 이것을 어떠한 계산에 응용하기 위해서는 수치적(디지털)인 값으로 변환을 해야 한다. 패턴인식의 여러 가지 방법 중에서도 기초적인 해상도, 표본화, 양자화, 필터링 등과 같은 방법을 이용하여 원본 인터페이스를 간단하게 디지털 처리 할 수 있다.

II.2. 인터페이스 평가 요소

앞에서 언급하였듯이 인터페이스를 디지털로 모델링 하는 것은 여러 가지 장점이 있지만 그 중에서도 특히 중요한 장점은 모델링 된 인터페이스를 이용하여 많은 응용을 할 수 있는 것이다. 순차적인 작업이란, 운전원(사용자)이 특정 목적을 위하여 몇 단계의 인터페

이스를 통하여 작업을 수행하는 것을 의미한다. 운전원이 어떤 작업을 하는데 3단계의 인터페이스가 필요하다고 가정해보자. 기존의 평가 방법을 통하여 각 단계의 인터페이스는 평가 결과를 만족하는 설계가 이루어졌다고 하면, 운전원은 그 작업을 빠른 시간에 마칠 수 있다고 예측할 수 있다. 하지만 각 인터페이스가 제공하는 인지적 특징이 상이하게 틀리다면 작업 시간은 예측된 시간보다 오래 걸릴 것이다. 이를 보완하기 위해서는 단계별 인터페이스의 인지적 특징을 일치시켜야 하며, 일반적으로 사용자 인터페이스의 일관성을 유지해야 한다.

II.2.1. 인지적 부담

인간은 어떤 시각적 정보를 보면 즉시 뇌에 저장을 시킨다. 하지만 복잡한 정보일수록 저장 시간이 오래 걸리며, 저장되는 모습도 원본과는 비교되게 간략해진다. 우리는 이러한 인간의 특성을 고려하여 인터페이스를 평가하는 요소로 인지적 부담을 중요하게 고려해야 한다. 아날로그 인터페이스에 대한 인지적 부담을 측정하는 것은 실험에 의해 데이터를 수집하는 것이다. 이런 접근법은 서론에서 언급하였던 접근 방법에 차이가 있기 때문에 본 논문에서는 가급적 실험을 배제하는 방법을 사용하도록 제한을 한다. 크게 두 가지 방법론을 이용하여 디지털 처리된 인터페이스의 인지적 부담을 계산할 수 있다. 인지적 부담에 따른 사용자 반응 시간의 그래프는 대략적으로 그림 3과 같이 나타난다. 인지적 부담이 크면 인터페이스를 통한 사용자 반응 시간은 길어지며, 인지적 부담이 적으면 사용자 반응 시간은 줄어든다.

첫 번째는 상관식을 이용하는 방법인데, 이 방법은 디지털 처리된 인터페이스가 세부적으로 몇 개의 데이터로 변환되는 과정이 있어야 한다. 데이터로 변환되기 위해서는 디지털 처리된 인터페이스를 세부적인 객체(Emergent Feature)들로 재구성해야 한다. 이를 위해서 인터페이스 내부의 객체들을 구분하여 인식하는 방법이 추가로 연구되어야 한다. 지금까지는 아날로그 방식의 인터페이스에서 어떠한 객체들이 있는지 연구되어 왔으며 그러한 객체들을 이용하여 인터페이스가 갖고 있는 정보의 양을 정량화하는 연구도 수행되었다.^[1] 객체를 이용하여 정보의 양을 정량화 하는 방법은 일반적으로 인지적 복잡도 이론(Cognitive Complexity Theory)에 대응한다고 볼 수 있다.^[3,4,5] 이 이론의 내용을 간략히 알아보면 다음과 같다.

$H_s = \log_2 N$, where N is the number of equally likely alternatives.

$$H_s = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 \left[\frac{1}{p_i} \right], \text{ where } p_i \text{ is the probability of occurrence of event}$$

두 번째는 인공신경망을 이용하는 것이다. 이 방법은 디지털 처리된 인터페이스를 학습데이터로 사용하여 신경망이 인지적 부담의 정도를 계산하는 것이다. 신경망을 이용함에 고려해야 하는 것은 학습방법일 것이다. 교사 학습이나 비교사 학습을 이용하여 신경망을

학습시켜야 한다. 본 논문에서는 구체적으로 어떤 방식을 이용할 것인지는 아직 정해지지 않았다. 어떤 방식으로 신경망을 학습시키든지 결과는 인지적 부담을 계산하는 것은 변하지 않는다.

II.2.2. 순차적 유사도

사용자 인터페이스 평가에서 중요한 요인은 일관성이라고 앞에서 언급하였다. 사용자가 현재 보고 있는 인터페이스와 이전에 본 인터페이스의 유사도는 인터페이스가 갖고 있는 인지적 특징들이 얼마나 유사한가를 평가하는 것이다. 일반적으로 순차적 유사도가 높으면 사용자 반응시간이 줄어들고 유사도가 낮으면 사용자 반응시간이 길어진다.(그림 4) 순차적 유사도도 인지적 부담과 마찬가지로 객체를 통하여 예측하는 것(그림 6)과 신경망을 이용하여 예측하는 두 가지 방법이 존재할 수 있다. 객체를 통하여 예측하는 내용을 예를 들면 다음과 같다.^[2]

- A : 인터페이스 at t=t+1
- B : 인터페이스 at t=t

$$C(S) = H(A) + H(B) - H(S)$$

$$D(A) = \frac{\text{signal}}{\text{noise}} = \frac{H(A) - C(S)}{H(A^c) - C(S)}$$

여기에서 D(A)는 시간상 앞서 있는 인터페이스와 현재 인터페이스의 구별성을 의미하는 변수이다. 구별성은 유사도의 역비례 관계에 있기 때문에 유사도를 산출하는데 응용될 수 있다. 하지만 본 논문에서는 순차적 유사도를 계산하기 위하여 신경망을 이용한다.

II.2.2. 작업에 따른 인터페이스

사용자 인터페이스를 평가하기 위해서 일련의 작업에 대한 인터페이스들을 확보해야 한다. 확보된 인터페이스들은 신경망의 입력으로 활용하기 위해 패턴인식 처리를 하여야 한다.

II.3. 인터페이스 평가

어떤 사용자 인터페이스를 분석적 방법을 통하여 평가하는 것은 사용자가 해당 인터페이스를 이용하여 작업을 한다고 할 때 작업 완료의 예측시간을 구하는 문제로 변환될 수 있다. 앞에서 언급한 두 가지 요소를 동시에 고려하면 그림 5와 같은 현상을 볼 수 있다. 그림 5를 좀 더 자세히 살펴보면 다음과 같다.

- Group A : 유사도가 높으며 인지적 부담이 적다.

- Group B : 유사도가 높으며 인지적 부담이 크다.
- Group C : 유사도가 낮으며 인지적 부담이 적다.
- Group D : 유사도가 낮으며 인지적 부담이 크다.

이러한 결과에서 알 수 있듯이 어떤 인터페이스에 대해서 두 가지 요소를 평가하면 Group A에 속하는 인터페이스는 사용자가 작업하기 쉽고 빠른 환경을 제공한다고 볼 수 있으며, Group D에 속하는 것은 사용자에게 친숙하지 않고 작업 시간의 지연을 초래한다고 볼 수 있다. 순차적인 작업에 대해서 평가한 결과가 다음과 같다고 하자.

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - 작업에 필요한 순차적 인터페이스 수 : 8 - 각 인터페이스의 분류
A-A-B-B-C-C-D-D - 예측 소요시간 : 32초 |
|---|

이것은 하나의 평가 결과가 될 수 있다. 하지만 평가 방법이 이러한 정보만 제공한다면 인터페이스를 설계하거나 개선하는 것에 아무런 영향을 줄 수 없다. 위의 예를 이용하여 다음과 같은 가정을 할 수 있다.

A의 예측 소요시간 : 1초

B의 예측 소요시간 : 2초

C의 예측 소요시간 : 5초

D의 예측 소요시간 : 8초

이러한 가정에서 하나의 인터페이스가 하는 작업을 몇 개의 인터페이스가 하도록 인터페이스 설계를 다시 하였을 때의 평가 결과는 다음과 같이 변할 수 있다.

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - 변화된 것 : D->(B,B,B), D->(B,C) - 작업에 필요한 순차적 인터페이스 수 : 11 - 각 인터페이스의 분류
A-A-B-B-C-C-B-B-B-B-C - 예측 소요시간 : 29초 |
|--|

이러한 결과를 얻기 위해서는 다음의 것들이 수행되어야 한다.

- 인지적 부담에 따른 사용자 반응 시간의 예측
- 순차적 유사도에 따른 사용자 반응 시간의 예측
- 인지적 부담과 순차적 유사도를 동시에 고려한 사용자 반응 시간 예측의 합성

III. 결론 및 토의

인터페이스 평가 방법 중에서 분석적 방법의 특성은 평가를 수행함에 있어 사용자가 필요하지 않으며, 결과로 도출된 정보가 정량적인 것에 장점이 있다. 본 논문에서 제안한 방법론의 목표는 일련의 순차적 작업을 하는데 소요되었던 시간을 단축하기 위하여 어떤 피드백 정보를 인터페이스 설계자에게 주어야 하는지를 개략적으로 제공하는 것이다. 모델링 부분에서 언급한 바와 같이 이러한 응용을 하기 위해서 기존의 인터페이스 평가 방법에서는 반복적인 실험에 의해 인터페이스 평가에 대한 소요 비용이 증대되는 단점을 갖고 있다. 하지만 제안된 방법을 이용하면 초기의 신경망 학습과 사용자 반응 시간의 합성에서 정확한 반응을 기대하고자 하는 소요 비용은 증가하지만 초기 설정이 지난 후에 지속적으로 평가 방법을 이용하는데 소요되는 비용은 크게 감소시킬 수 있게 된다.

IV. 향후 연구

- 패턴 인식 처리과정 도출
- 인지적 부담, 유사도에 대한 신경망 구성
- 사용자 반응시간 데이터 수집

V. 참고문헌

1. Jin Kyun Park and Soon Heung Chang, "A Study on Dynamic Evaluation Methods for Human Machine Interfaces In Advanced Control Rooms" Ph.D. Thesis, KAIST, 1998.
2. B.J. Oommen, K.Zhang, and W. Lee, "Numerical Similarity and Dissimilarity Measure Between Two Trees", IEEE Trans. on Computers, Vol. 45, No. 12, pp. 1426-1434, 1996
3. E.J. Weyuker, "Evaluating software complexity measures", IEEE Trans. on Software Engineering, Vol. 14, No. 9, pp. 1357-1365, 1988
4. A. Mowshowitz, "Entropy and the complexity of graphs: I. An index of the relative complexity of a graph", Bulletin of Mathematical Biophysics, Vol. 30, pp. 175-204, 1968
5. J. S. Davis and R. J. LeBlanc, "A Study of the applicability of complexity measures", IEEE Trans. on Software Engineering, Vol. 14, No. 9, pp. 1366-1372, 1988



그림 1. 차세대 원자력 발전소 주제어실의 예상 모습

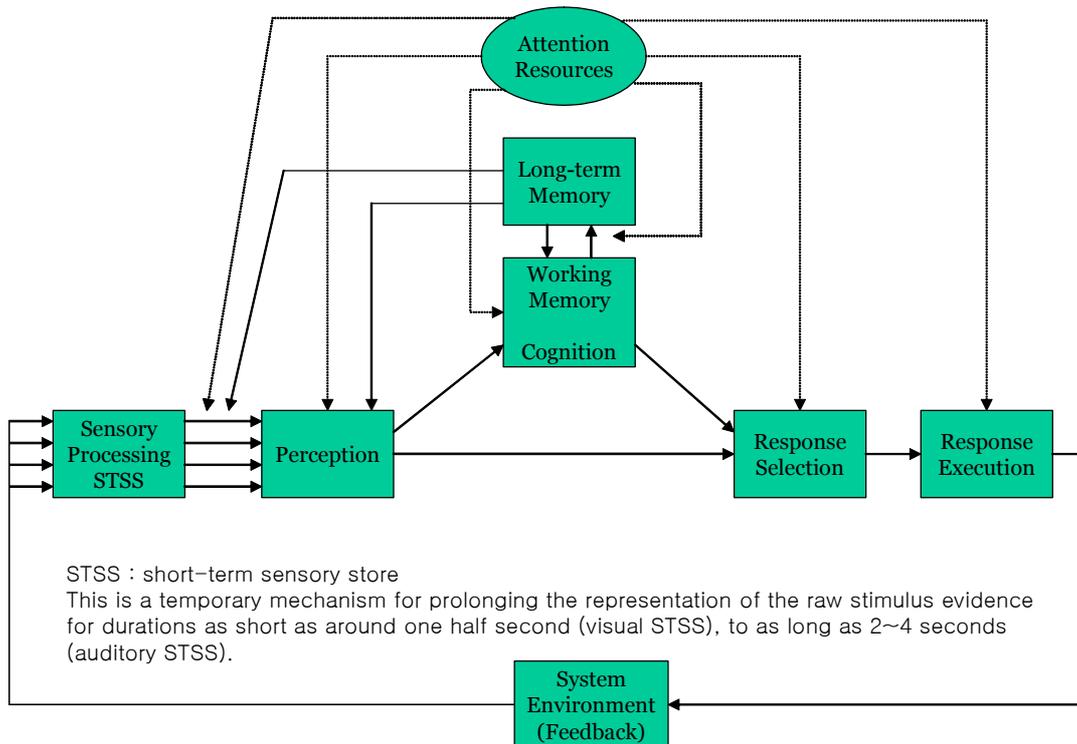


그림 2. 인간정보 처리 모델

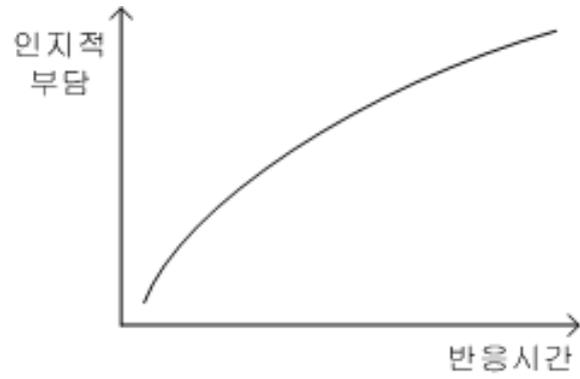


그림 3. 인지적 부담과 사용자 반응시간

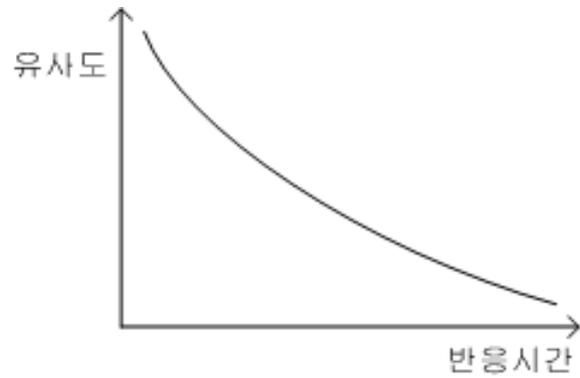


그림 4. 인터페이스 유사도와 사용자 반응시간

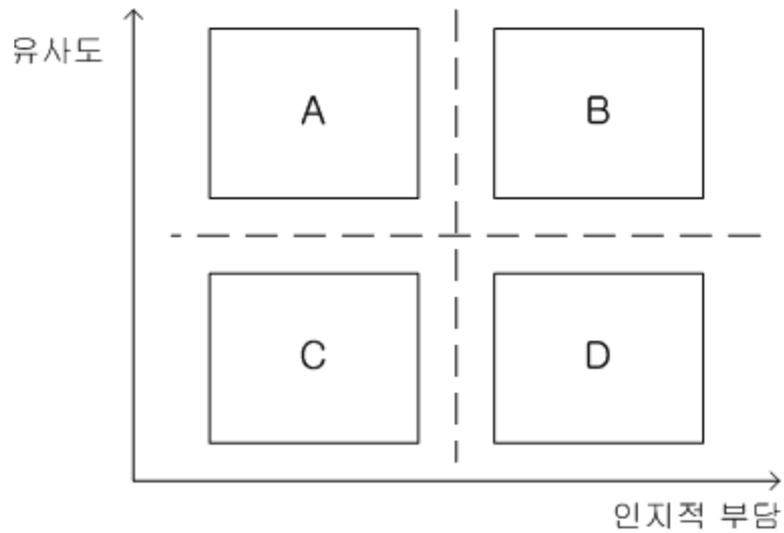


그림 5. 유사도와 인지적 부담을 고려한 인터페이스의 분류

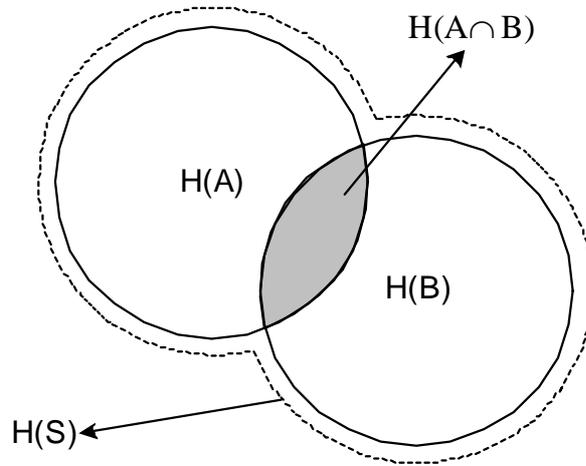


그림 6. 두 가지 인터페이스의 유사도를 위한 벤다이어그램

표 1. 사용자 인터페이스 평가 방법의 분류

Method	Interface Development Stage	User Involvement	Data and Information produced
Analytic	Specification	No users, Task specified	Quantitative
Expert	Specification, prototype	Role playing, No restrictions	Qualitative
Observational	Specification, prototype	Real users, No restrictions	Qualitative, Quantitative
Survey	Specification, prototype	Real users, No restrictions	Qualitative, Quantitative
Experimental	Full prototype	Real users, No restrictions	Qualitative, Quantitative