

엔트로피를 기반으로 한 사용자 인터페이스 인지적 복잡도의 척도*

An Entropy-Based Measure for Evaluating the Cognitive Complexity of User Interface

이동석**, 윤완철**, 최상섭**

Dongseok Lee, Wan Chul Yoon, Sangsup Choi

요약 현대의 시스템들이 가지는 고기능화와 자동화로 인하여 인간의 운용 능력이 점점 더 중요한 능력으로 부각되고 있으며, 이는 사용자가 경험하게 되는 인지적 복잡도를 제어하는 것을 요구한다. 본 연구에서는 사용자 인터페이스에서 사용자가 경험해야 하는 인지적 복잡도를 스키마 구조를 반영하여 정량화하는 엔트로피 모형(윤완철, 1992)을 적용하여 사용자가 겪게 될 인지적 복잡도를 예측하는 척도가 제안되었으며 실험적으로 검증되었다. 엔트로피와 시스템 크기-조작의 수와 상태의 수-가 각각 다른 세 가지 인터페이스(엔트로피가 낮고 작은 크기의 인터페이스, 엔트로피가 높고 작은 크기의 인터페이스, 엔트로피가 높고 큰 크기의 인터페이스) 중의 하나를 사용하는 것은 피험자들이 학습하고, 이에 대해 검사를 받았다. 제안된 척도인 시스템 엔트로피는 사용자 수행도를 잘 설명하였지만, 시스템의 크기는 그러하지 않았다. 본 연구는 사용자가 겪게 될 인지적 복잡도를 평가자의 주관에 개입하지 않는 방법을 통하여 평가할 수 있음을 보인 것으로 가전제품이나 소프트웨어의 디자인의 평가와 개선 등 인간의 인지적 복잡도가 사용성에 중요한 영향을 미치는 분야에서 유용하리라 여겨진다.

1. 서론

빠르게 발전하고 있는 현대의 기술로 인하여 우리가 일상 생활에서 수행하는 기계와의 상호작용이 점점 복잡해지고 있다. 일상생활에서 우리가 사용하는 시스템들은 자동화, 지능화, 소형화되고 이전보다 훨씬 더 많은 기능들을 수행함에 따라 직무를 수행하는 방식이 더욱 복잡해졌다. 예를 들면 최근에 개발된 무선 전화기는 몇 년 전과 비교하여 볼 때 크기는 훨

씬 작아졌지만 전화번호 기억, 호출, 음성 다이얼같은 기능을 훨씬 더 많이 가지고 있어 사용하기 위한 방식이 더욱 복잡해졌다. 이점은 VCR이나 전화기, 소프트웨어 등에서도 마찬가지이다. 이런 이유로 인간이 시스템을 완벽하게 사용하는 것이 거의 불가능해지고 있으며 시스템 사용법을 학습하는 데에 많은 시간을 소요하여야 한다. 이러한 추세를 고려할 때, 인간을 고려한 디자인의 중요성이 더욱 중요하게 부각되고 있다. 인간은 더 이상 시스템과 분리하여 따로 생각할 수 있는 요인으로 간주되어서는 아니되며, 시스템 사용성의 병목(bottleneck)이 되는 요인으로 간주되어야 한다. 따라서 인간의 수행에 영향을 미치는 요인들을 연구하는 것은 시스템 디자인을 위해 중요한 일이다.

인지적 복잡도는 인간의 수행에 지대한 영향을 미치는 요인 중의 하나이다 (Wickens, 1992). 인지적 복잡도가 높을수록 인간은 저조한 수행을 보이며, 낮

* 본 연구는 과학기술부지원 감성공학기술 개발에 의해 이루어졌음.

** 한국과학기술원 산업공학과
Department of Industrial Engineering
대전광역시 유성구 구성동
Korea Advanced Institute of Science and Technology
Yusong-Gu, Taejeon, Korea
전화: 042-869-3159
팩스: 042-869-3110
E-mail: dslee@cogsys.kaist.ac.kr

을수록 좋은 수행도를 보인다. 좋은 사용자 인터페이스를 디자인하는 것은 인간이 경험하는 시스템 사용의 복잡성을, 즉 인터페이스의 인지적 복잡도를 제어하는 일로 귀착된다. 최근에는 낮은 인지적 복잡도를 갖는 사용자 인터페이스를 디자인하기 위한 노력이 많은 분야에서 일어나고 있다. 시스템 자체의 복잡도와 사용자 인터페이스의 복잡도가 반드시 비례하는 것은 아니므로, 사용자 입장에서 인터페이스의 복잡도를 분석하고 평가하는 것은 시스템의 효용을 보장하는 데에 가장 중요한 요소 중의 하나로 인식되고 있다. 이러한 분석과 평가를 위한 기법의 개발은 사용자가 경험할 복잡도를 개념적 설계 과정에서 평가할 수 있게 해주므로 매우 큰 의미를 가진다.

인간이 겪게 될 복잡도를 예측하는 측정치를 구하는 데에는 여러 접근 방법이 존재한다(Rouse, 1979). 그 중 하나는 시스템의 복잡도를 그대로 이용하는 것이다. 시스템의 부품의 수, 제시된 요소의 수, 연결의 수 등이 인간이 겪게 될 인지적 복잡도와 비례할 것이라고 생각하는 것이다. 두 번째로는 문제를 해결하는 알고리즘의 계산상의 복잡도를 측정하는 것이 있다. HCI(Human Computer Interaction) 분야의 대표적인 모형인 TAG(Payne과 Green, 1986)와 GOMS(Card, Moran과 Newell, 1983)는 문제 해결 과정을 규칙들로 표현하고 그 규칙의 수를 복잡도 측정에 이용하는 것으로 이 범주에 속한다고 할 수 있다. 이 모형들은 일관성의 평가 측면에서는 좋은 성과를 보였지만, 분석자의 주관적 판단에 의존하고 있어 문제가 복잡해질 경우 분석이 매우 복잡해지는 약점을 가지고 있다. 또한 뒤에서 언급할 인간의 문제 해결 방식에 대한 좀 더 세밀한 고려가 이루어지지 않고 있다. 또 다른 접근 방법으로 정보 이론적인 측정치를 이용하는 것이 있다.

Shannon(1948)에 의하여 발전된 정보 이론은 초창기에는 통신공학(communication engineering) 분야에서 발전되어 왔지만, 곧 심리학의 시각에서 해석되었다(Sanders, 1987). 즉, Shannon의 정보량은 놀라움의 정도로 해석될 수 있으며, 산만성(disorganization), 불확실성(uncertainty), 및 우발성(randomness)으로 해석되고 있는 것이다. Hick(1952)과 Hyman(1953)은 선택 반응시간은 자극의 정보량과 선형 비례함을 보였고, Fitts(1954)는 막대를 구멍에 끼우는 작업에서의 난이도는 정보량으로 설명 가능하며 이것은 인간의 수행도와 선형 비례함을 보임으로써 인간의 정보처리 과정에 대한 정보

이론의 적용 가능성을 보여주었다. Rouse(1979)는 정보 이론적인 척도로써 피험자들의 진단 문제의 수행도에 대하여 매우 정확한 예측을 하였다. 또한 정보량의 개념은 소프트웨어의 복잡도 척도로써 개발되고 있으며 (Harrison, 1992), 최소 엔트로피(minimal entropy) 개념은 규칙 학습, 형태 인식, 클러스터링(clustering)등의 여러 분야에서 사용되고 있다(Pitas, 1992). 정보 이론은 초창기 과학자들의 기대를 충족시키지는 못하였으나, 인지 심리학, 전산학, 인간공학 등에서 정보량을 기반으로 한 척도를 개발하려는 연구에 중요한 기초 개념을 제공하여 왔다.

윤완철(1992)은 인간이 사용자 인터페이스를 사용하면서 겪게 될 인지적 복잡도를 정량화 하는 방법을 제안하였다. 그는 사용자가 인터페이스의 상태와 조작에 대해 가지는 지식을 행렬 형태로 표현하고, 정보 이론적 엔트로피를 기반으로 하여 계획 수립의 복잡도를 평가하였다. 그의 연구에서 정량화된 결과인 엔트로피는 인터페이스의 인지적 복잡도에 대한 직접적인 척도로서, 분석자의 주관적 판단에 의존하지 않고 인간의 지식 구조를 반영한 것이다. 본 논문에서는 엔트로피 모형을 사용자 인터페이스에 적용하여 사용자 인터페이스의 조작과 상태에 대한 지식을 모형화하고, 사용자가 느끼는 인지적 복잡도를 평가할 수 있는 척도를 정량화된 결과를 이용하여 제안하고 이를 실험을 통하여 검증하였다.

다음에서 엔트로피 모형을 간략히 설명하고, 엔트로피 모형을 사용자 인터페이스에 적용하여 다른 엔트로피 값을 갖는 사용자 인터페이스들을 만들어 이들의 엔트로피 값이 피험자의 수행을 예측하는지를 검증한 실험과 그 결과를 보고한다.

2. 엔트로피 모형(Entropy Model)

2.1 행렬 모형과 엔트로피 함수

엔트로피 모형은 개별 사례와 특징에 대한 정보를 행렬 형태로 표현하여, 행은 개별 사례를 열은 특징을 나타낸다. n 개의 개별 사례와 r 개의 특징을 가지고 있는 자극 세트는 행렬 A 로 표현될 수 있다.

$$A = \{a_{ij} \mid i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, r\}$$

여기서는 0 혹은 1의 값을 가진다. 하나의 사례 i

가 특징 j 를 갖는다면 1의 값을 가지며, 가지지 않으면 0의 값을 가지게 된다. 표 1은 네 가지 특징으로 구성된 세 가지 사례를 행렬로 나타내고 있다.

표 2.1 사례-특징 관련표

	F1	F2	F3	F4
11	1	1	0	0
12	1	0	1	1
13	0	0	1	1

엔트로피 모형의 정량화 방법은 Shannon이 제안한 정보량을 기반으로 한다. 하나의 사건이 일어났을 때 그 사건이 가지게 되는 정보량 I_i 은 일어날 확률 P_i 과 반비례한다.

$$I_i = -\log_2 P_i$$

정보량은 각 사건이 가지게 되는 '놀라움의 정도'로 해석될 수 있다(Harrison, 1992). 엔트로피 모형에서는 확률 P_i 를 a_{ij} 가 어떤 값을 가지는가를 인간이 예측 가능한 정도로 본다. 인간이 쉽게 예측 가능하다면 놀라움의 정도가 적어지는 것이고, 예측 불가능하다면 놀라움의 정도가 커지는 것이다. 즉, 인간이 지식을 취득하고 활용할 때 이러한 놀라움의 정도가 적은 것은 쉽게 느껴지지만 큰 것은 어렵게 느껴질 것이다.

사례 i 의 특징 j 가 어떤 값을 가지는 가로부터 발생하는 정보량은 아래와 같이 표현된다.

$$I(a_{ij}) = -\log P(a_{ij})$$

where $P(a_{ij}) = \begin{cases} P(a_{ij}=1), & a_{ij}=1 \\ P(a_{ij}=0), & \text{otherwise} \end{cases}$

$P(a_{ij})$ 의 값은 a_{ij} 의 값을 예측할 수 있는 정도로써 a_{ij} 가 이항변수 이므로 아래와 같이 정의될 수 있다.

$$P(a_{ij}) = \begin{cases} E(a_{ij}), & a_{ij}=1 \\ P(a_{ij}=0), & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서 $E(a_{ij})$ 는 a_{ij} 가 1일 기대치로써 a_{ij} 의

가중 평균치로써 계산될 수 있다.

$$E(a_{ij}) = \sum_k w_{ik} \cdot a_{kj}$$

2.2 스키마 구조의 활용을 반영한 가중치

인간이 사용하는 스키마 형성의 전략을 반영하기 위한 가중치의 조건을 윤완철(1992)은 아래와 같이 정의하고 있다. 첫째, 유사(analogy)의 사용을 반영하여야 한다. 즉, 높은 유사정도를 가지는 사례간에는 높은 가중치가 주어져야 한다. 둘째, 한 그룹의 영향력은 그룹에 속하는 사례의 숫자에 영향을 받지 않아야 한다. 셋째, 분석자의 주관적인 판단에 영향을 받지 않아야 한다.

두 사례간의 유사성은 공통적인 특징에 의해 결정되는데, 그 가능성의 조합이 갖는 정보량에 의한다. 이러한 가중방식은 문서의 자동 분류기법에 적용되어 그 합리성이 검증되었다(Salton, 1983). 각 사례가 자신과 같은 스키마에 속하는 수에 반비례하여 갖는 가중치 a_i 를 가정하면 사례의 특징 j 가 0또는 1일 확률은 아래와 같다.

$$P(a_{\cdot j} = 1) = \sum_i \frac{a_i \cdot a_{ij}}{a_{\cdot j}} = a_{\cdot j}$$

$$P(a_{\cdot j} = 0) = 1 - a_{\cdot j}$$

그러면 사례 i 와 사례 k 의 특징 j 의 실현치가 가지는 정보량은

$$I_{ik}^j = -\{\log P(a_{\cdot j} = a_{ij}) + \log(a_{\cdot j} = a_{kj})\}$$

이다. 사례 i 와 사례 k 간의 유사지수(similarity index)의 행렬은 아래와 같이 정의된다 ($C_{ik} \sim \{0, 1\}$).

$$C = \{C_{ik} \mid i=1, \dots, n; k=1, \dots, n\}$$

$$C_{ik} = \sum_{j \in S_a} I_{ik}^j / \sum_j I_{ik}^j, S_{ik} = \{j \mid a_{ij} = a_{kj}\}$$

표 2.2는 표 2.1의 관련표로부터 유사지수가 계산된 결과이다.

표 2.2 유사지수

	I1	I22	I3
I1	1	0.152	0
I2	0.152	1	0.618
I3	0	0.618	1

한 스키마에 속하는 사례 개수의 영향을 없애기 위해서는 다른 사례와 강한 유사관계를 가지는 사례의 유사성이 그만큼 하향 조정되어야 한다. 조정된 유사지수(adjusted similarity index)는 아래와 같이 정의되며, 이를 이용하여 가중치를 구한다.

$$C_{ij} = \begin{cases} 1 & , \text{for } i = j \\ C_{ij} / \sum_{k=1}^n C_{ik} & , \text{otherwise} \end{cases}$$

$$w_{ij} = C_{ij} / \sum C_{ij}$$

가중치는 의 값이 1일 거라는 사용자의 기대치를 구하기 위해서 사용되며, 그 후 정보량이 계산된다. 표 2.3은 표 2.1의 관련표로부터 구한 계산 결과이다.

표 2.3 정량화된 결과 - 엔트로피

	F1	F2	F3	F4
I1	0	0.130	0.130	0.130
I2	0.619	0.130	0.130	0.130
I3	0.619	0	0	0

위의 계산 결과에서 사례 2에 대해 살펴보면 I(a₂₁)은 0.619로 I(a₂₂)의 값 0.130보다 크다. 곧 이 율을 살펴보면 사례 3은 사례 2와 많이 비슷함에도 (C₂₃ = 0.618) a₂₁와 a₃₁의 값이 다르므로 발생하는 놀라움의 정도가 큰 것이 반영된 것이다. 반면, 사례 2는 사례 1과는 덜 비슷하므로 (C₂₁ = 0.152) a₁₂와 a₂₂의 값이 다르므로 생기는 놀라움의 정도가 적은 것이다.

3. 사용자 인터페이스에의 엔트로피 모형의 적용

본 연구에서 엔트로피 모형은 사용자 인터페이스의

구조적 지식의 복잡도를 측정하고자 적용되었다. 구조적인 지식은 시스템 상태(states)와 조작(operations)에 대한 지식으로서 인터페이스 학습의 배경을 형성하는 지식이 되므로, 이를 정량화 하는 방법론을 개발하는 것은 인터페이스 개발과정에 적용되어서 디자인 개선의 효과를 볼 수 있는 의미 있는 작업이다. 사용자 인터페이스에서 조작은 성취하고자 하는 목표와 직접적으로 관련되어 있으므로 학습의 주된 관심사가 된다. 그러나 대부분의 복잡한 시스템에서 항상 모든 조작이 가능한 것은 아니므로 사용자는 어떤 상태에서 목표 조작이 사용가능한지에 대한 지식(operation availability)을 필요로 한다. 예를 들자면 VTR에서 backward-scanning은 rewind중에 바로 실행이 불가능하므로 play를 한 후에 backward-scanning을 해야 한다. 이 경우 사용자는 backward-scanning이 어떤 상태에서 조작 가능한가에 대한 지식을 가져야 한다. 조작이 사용가능한에 대한 지식은 또한 목표 조작을 수행하기 위한 계획수립에 사용된다.

3.1 조작-상태 관련표

어떤 조작이 사용가능한지에 대한 지식을 습득하고 활용하기 위하여 사용자는 한 조작이 가능해지는 상태들의 집합을 고려할 것이다. 즉, 어떤 조작이 사용가능한 상태들의 집합이 유사하다면 사용자는 쉽게 인지적 복잡도를 줄여주는 스키마를 형성할 수 있을 것이다. 아래 표 3.1은 사용자 인터페이스의 구조적 지식을 표현한 것으로써, 행은 조작을 열은 상태를 나타낸다. 가 가지는 값 '1'은 조작 i가 상태 j에서 사용가능함(available)을 '0'은 조작이 사용 불가능함을 나타낸다.

표 3.1 조작-상태 관련표

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
O1	0	1	1	1	1	0	0
O2	1	0	0	0	0	1	1
O3	1	0	0	0	0	0	0
O4	1	1	1	0	1	0	1
O5	1	1	1	1	0	1	0

위와 같이 엔트로피 모형을 사용자 인터페이스의 구조적 지식에 적용을 하면 유사지수 C는 조작들간의 유사한 정도를 나타내며, 는 조작 i가 상태 j에서의

사용여부가 가지는 정보량이다. 표 3.2는 표 3.1의 조작-상태 관련표로부터 정량화된 결과이다.

표 3.2 표 3.1로부터 계산된 엔트로피

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
O1	0.69	0.09	0.09	0.36	0.36	0.25	0.25
O2	0	0.32	0.32	0.15	0.15	0.55	0.55
O3	0.09	0.35	0.35	0.21	0.21	0.51	0.51
O4	0.27	0.29	0.29	0.41	0.43	0.29	0.57
O5	0.27	0.29	0.29	0.43	0.41	0.57	0.29

3.2 인지적 복잡도를 평가하기 위한 두 가지 척도

본 논문에서는 엔트로피 모형의 정량화된 결과를 가지고 사용자 인터페이스의 인지적 복잡도를 예측할 수 있는 척도를 두 가지 제안하였다. 첫째로 조작 i 가 상태 j 에서의 사용 여부가 가지는 정보량은 이를 알기 위한 노력의 양으로 해석될 수 있다. 즉, 정보량이 크면 클수록 조작의 사용 여부를 알아내기가 어렵다. 그러므로 $I(a_{ij})$ 는 조작 사용가능성의 학습용이도(learnability)를 예측하는 데에 쓰일 수 있으며 이를 사용가능 엔트로피(availability entropy)라고 정의한다.

$$availability\ entropy = I(a_{ij})$$

시스템의 모든 조작과 상태가 독립적임을 가정하면, 정보량은 가법적(additive)이므로 사용가능 엔트로피를 모두 더하면 시스템 전체의 조작 사용가능성을 파악하는 데에 필요한 인지적 노력의 양을 예측할 수 있을 것이다. 이를 시스템 엔트로피(system entropy)라고 할 것이다.

$$system\ entropy = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m I(a_{ij})$$

본 논문은 제안된 시스템 엔트로피가 사용자가 인터페이스를 사용하면서 겪게 될 인지적 어려움을 잘 예측하는지를 실험적으로 탐색한다.

4. 실험

사용자 인터페이스의 인지적 복잡도는, 실수율, 정확도, 반응시간 등의 측면에서, 인간의 문제 해결 수행을 나쁘게 한다. 그러나 사용자의 수행에 영향을 미치는 요인은 인지적 복잡도뿐만이 아니므로 실험 시스템에서는 다음과 같은 통제가 이루어 졌다. 첫째, 사용자의 과거 경험이 수행에 주는 영향을 최소화하기 위하여 피험자들이 사용한 적이 없는 새로운 시스템이 사용되었다. 둘째, 조작과 상태의 관계가 사전 지식으로부터 받는 영향이 최소화되도록 하기 위해 본 실험에서는 새로운 과제가 사용되었다. 그 이유는 사전 지식이 엔트로피 모형에서 가정되고 있는 상태들 혹은 조작들간의 독립성을 깨기 때문이다. 끝으로, 본 연구의 목적은 엔트로피가 낮은 시스템의 조작 사용가능성이나 작업 절차가 외우기 쉽다는 것을 보이기 위한 것이 아니라, 엔트로피가 낮은 시스템에서 사용자는 쉽게 인지적 복잡도를 줄이는 스키마를 형성하는 것을 보이는 것이므로, 피험자들은 훈련 과정과 실험 과정에서 조작 사용가능성이나 과제의 절차를 외우지 않도록 지시 받았고 외울 필요가 없는 환경을 제공받았다.

4.1 사용된 시스템: 채색 기계 제어기

실험에 사용된 시스템은 여러 가지 색을 칠할 수 있는 기계를 제어하는 장치였다(그림 4.1). 이 장치는 칠할 색을 채색 기계에 명령하는 기능을 하며, 채색 작업은 아래 그림의 중간에 보이는 제어 버튼을 클릭

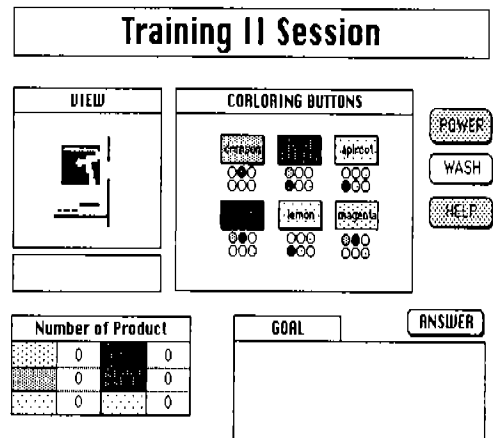


그림 4.1 채색 기계 제어기

하는 것으로 이루어지며 버튼의 색이 칠할 색을 나타내었다. 실험 시스템은 한번에 하나의 물건을 채색할 수 있으며, 기계의 한계--모든 색이 항상 채색 가능한 것은 아니며 바로 전에 칠한 색에 의하여 영향을 받는다--를 가정하여서 조작 사용가능성을 제어하였다. 즉, 조작 사용가능성은 이전에 칠한 색이 i 일 때 지금 j 색을 칠할 수 있는가를 의미하였다.

4.2 세 가지 인터페이스

시스템의 크기--버튼이나 상태의 수--는 시스템의 복잡도에 영향을 미치는 가장 큰 요인으로 여겨져 왔다. 본 연구에서는 엔트로피 척도가 시스템의 크기와 혼동되어 수행에 영향을 주는 것을 피하기 위하여, 세 가지 인터페이스, 즉 작고 엔트로피가 낮고 인터페이스(S-L), 작고 엔트로피가 높은 인터페이스(S-H), 크고 엔트로피가 높은 인터페이스(L-H)가 사용되었다. 크기가 작은 시스템은 8개의 조작과 상태를 가졌고, 큰 시스템은 12개의 조작과 상태를 가졌다. 그리고 엔트로피가 낮은 시스템의 시스템 엔트로피는 7.0이었으며, 높은 시스템의 그것은 14.0이었다. 만일 엔트로피만 수행에 영향을 주고 시스템의 크기는 영향을 주지 않는다면, S-H와 L-H 인터페이스 사이에는 수행의 차이가 없고 이 두 인터페이스는 S-L 인터페이스에 비해 저조한 수행을 산출할 것이다. 반면 시스템의 크기만 수행에 영향을 주고 엔트로피는 영향을 주지 않는다면, S-L과 S-H 인터페이스 사이에는 수행의 차이가 없고 이 두 인터페이스는 L-H 인터페이스에 비해 우수한 수행을 산출할 것이다. 만일 엔트로피와 시스템의 크기가 모두 수행에 영향을 미친다면, S-L, S-H, L-H 인터페이스의 순서로 좋은 수행이 나타날 것이다. 본 실험에서는, 엔트로피와 시스템 크기가 상호작용하리라고 생각되지 않음과 제한된 피험자의 수를 고려하여, 크고 엔트로피가 낮은 인터페이스는 제외되었다.

4.3 피험자

18명의 한국과학기술원 학부과정 학생이 수업요건을 충족시키기 위하여 참여하였으며, 실험실 도착 순서에 의하여 세 그룹 중의 하나에 배정되었다. 그룹 S-L은 시스템 크기가 작고 엔트로피가 낮은 인터페이스를, 그룹 S-H는 시스템 크기가 작고 엔트로피가 높은 인터페이스를, 그룹 L-H는 시스템 크기가 크고 엔트로피가 높은 인터페이스를 사용하였다.

4.4 실험 절차

전체 실험 과정은 모든 그룹에 동일하였으며 미리 제작된 지침서에 의하여 실험자의 개입 없이 진행되었다. 먼저 피험자는 사용하게 될 컴퓨터에 대한 안내를 받은 후, 본 실험에 들어갔다. 먼저 훈련 단계 I에서 피험자는 실험 시스템의 인터페이스에 대해, 예를 들어 버튼의 조작 방법, 조작의 기능, 표시되는 정보의 의미 등을, 학습하였다.

훈련 단계 II에서 피험자는 조작 사용가능성을 학습하였다. 앞에서 언급했듯이 피험자가 조작 사용가능성을 암기하는 것을 막기 위하여, 검사 과정에서는 사용 불가능한 기능인 'HELP'가 사용되었다. 즉, HELP 버튼을 누르면 채색 작업을 명령하는 버튼의 아래에 해당 조작의 사용가능한 경우가 표시되었다(그림 4.1의 채색 버튼 아래에 있는 작은 원들에 해당). 이를 통하여 피험자는 조작 사용가능성을 외울 필요를 느끼지 않으리라고 간주되었다. 훈련 단계 II에서 피험자는 해당 조작이 사용가능한 경우를 찾는 작업을 조작 당 3번씩 수행하였다.

이후 피험자는 검사 단계에서 HELP 없이 사용가능성 문제(availability problem)를 6개 풀었다. 이 문제들은 "지금 조작 i 가 사용가능한가?"를 묻는 문제들이었다. 문제의 노출 순서에 의한 영향을 통제하기 위해서 순서, 피험자, 문제를 세 요인으로 하는 6x6 라틴-스퀘어 디자인이 사용되었다. 사용가능성 문제에 대해 정답 여부와 응답에 걸린 시간이 기록되었다. 모든 문제에 대해서 피험자는 충분히 생각하고 답할 것을 요구받았으므로 문제를 푸는 데에 소요된 시간은 부수적인 척도로 간주되었다.

5. 결과 및 논의

검사 단계에서 측정된 데이터를 분산분석으로 분석한 결과, 표 5.1에서 볼 수 있듯이, 6문제 중의 정답의 수가 그룹간에 유의한 차이가 있었으며, $F(2,15) = 6.20$, $p = 0.0109$, 단칸의 다중범위 검사(Duncan's multiple range test) 결과, 그룹 S-L이 그룹 S-H와 그룹 L-H간에 차이가 있는 것으로 나타났으며, 그룹 S-H와 그룹 L-H간에는 차이가 없는 것으로 밝혀졌다($p < 0.05$). 다시 말해, 사용가능성 문제의 수행도는 시스템 엔트로피에 영향을 받았으며 시스템 크기에는 영향받지 않았다.

답할 때까지 걸린 시간의 데이터도 정답 수와 같은

형태를 보여 주었다. 응답 시간의 분산이 시간에 따라 증가함에 따라 로그 변환된 값이 분석에 사용되었다. 분산분석은 그룹간의 유의한 차이를 밝혔고, $F(2,15) = 6.29, p = 0.0104$, 그룹 S-L과 나머지 두 그룹간에 차이가 있음이 드러났다(단칸의 다중범위 검사, $p < 0.05$).

표 5.1 테스트 1의 실험 데이터

	Group S-L	Group S-H	Group L-H
정답수의 평균	4.5	3.17	3.33
log(elapsed time)의 평균	6.8390	7.2552	7.5055

결린 시간 (elapsed time)은 문제가 화면에 나타난 순간부터 답을 누를 때까지의 시간

6. 결론 및 추후 연구

본 논문은 엔트로피 모형을 사용하여 사용자 인터페이스의 인지적 복잡도를 측정하는 방법을 제안하고 그 타당성을 실험을 통하여 검증하였다. 이 방법은 인터페이스의 상태와 조작 가능성을 행렬로 표현하고, 상태들의 유사성에 근거하여 인터페이스가 갖는 전체적 인지적 복잡도인 시스템 엔트로피를 계산한다. 그리고 이 계산된 시스템 엔트로피가 인간의 수행을 잘 예측하는지를 검증하기 위하여, 다른 시스템 엔트로피를 갖는 인터페이스들을 만들어 피험자들로 하여금 배우게 하였다. 그 결과, 시스템 엔트로피는 인터페이스 사용법을 배우는 어려움을 잘 예측하였다. 특히 이 어려움은 시스템의 크기에는 거의 영향을 받지 않고 시스템 엔트로피에 의해 영향을 받았다.

이런 실험 결과는 인터페이스의 설계와 개선에 시사하는 바가 크다. 즉, 본 논문이 제안하는 측정치는 새로운 인터페이스가 과거의 것에 비해 인지적 복잡도를 줄여 주는지를 곧바로 알 수 있게 하여주며, 이는 다시 비용과 시간의 막대한 절감으로 이어진다. 뿐만 아니라, 이 측정치는 평가자의 주관적 판단에 의존하지 않으므로 인터페이스 설계와 평가에 깊은 지식이 없이도 쉽게 계산될 수 있다는 장점이 있다.

그러나 본 연구가 사용한 인터페이스는 실제 사용되는 인터페이스가 아닌 실험을 위해 만든 단순한 시스템이므로 곧바로 시스템의 분석과 인터페이스 설계

/개선에 쓰이기 위해서는 실제 사용되거나 사용될 가능성이 있는 인터페이스에 본 연구의 방법론을 적용하면서 모형을 개선하고 확장해야 할 것으로 보인다. 예를 들어, 사용자 인터페이스에서 사용자가 파악하는 일관성에 대한 좀더 세밀한 접근과 사용자 지식의 영향을 고려한 인지적 복잡도의 산출법, 사용 빈도를 고려한 정량화 방법에 대해 초점을 둔 추후 연구가 수행되어야 할 것으로 보인다.

Reference

- Anderson, J. R., *Cognitive Psychology and its Implications*, W. H. Company, 1990
- Card, S., Moran, T., & Newell, A., "The GOMS model of manuscript editing", *The Psychology of Human-Computer Interaction*, Ch. 5, LEA, 1983
- Harrison, W., "An Entropy-based Measure of Software Complexity", *IEEE Trans. On Software Engineering*, Vol. 18, No. 11, p 1025-1029, NOV 1992
- Kieras, D. & Polson, P. G., "An approach to the formal analysis of user complexity", *Int. J. Man-Machine Studies*, Vol. 22, p 365-394, 1985
- Payne, J. S. & Green, T. R. G., "Task-Action Grammars: a model of the mental representation of task languages", *Human-Computer Interaction*, Vol. 2, p. 93-133, 1986
- Pitas, I., Milios, E., & Venetsanopoulos, A. N., "A Minimum Entropy Approach to Rule Learning from Examples", *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 22, No. 4, JUL/AUG 1992
- Rouse, W.B. & Rouse, S. H., "Measure of Complexity of Fault Diagnosis Tasks", *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-9, No. 11, NOV 1979
- Salton, G. & McGill, M. J., *Introduction to Modern Information Retrieval*, McGraw-Hill, 1983
- Sanders, M. S. & Cormick, E. J., *Human*

Factors in Engineering and Design.
McGraw-Hill Inter. Editions, 1987

Shannon, C. E., A Mathematical Theory of
Communication, The Bell System
Technical Journal, Vol. 27, No. 3, JULY
1948

윤완철, "스키마 개념을 도입한 사용자 계획수립의 용
이도 평가, 한국경영과학회지, 17권 2호, 1992

Wickens, C. D., Engineering Psychology of
Human Performance, HarperCollins
Publisher Inc., 1992

An Entropy-Based Measure for Evaluating the Cognitive Complexity of User Interface

Dongseok Lee, Wan Chul Yoon, Sangsup Choi
(Korea Advanced Institute of Science and Technology)

Abstract This study proposes a quantitative measure, System Entropy that is based on the information theory, to assess the cognitive complexity of an interface and experimentally examines the ability of the measure to predict the difficulty of learning to use interfaces. Three interfaces were built that varied in System Entropy and system size: one with a low System Entropy and a small system size, one with a high System Entropy and the small system size, and one with the high System Entropy and a large system size. In a between-subjects design, subjects learned to use the interfaces and were tested. The subjects' performance was dependent on System Entropy but not on system size. The proposed measure may provide a practically useful tool to interface designers by making it possible to quickly assess the complexity of alternative interfaces.