

결정적 학습 경로를 위한 지식 구조 분석 시스템

Knowledge Structure Analysis System for Critical Learning Pathway

이 상 훈¹ 문 승 진^{2*}
Sanghoon Lee Seung-jin Moon

요 약

지식 공간 이론이란 학습자들이 대해 최대한의 학습 성취를 이끌어 낼 수 있도록 학습자들에 대한 가이드라인을 제공해주는 이론으로 여러 교육 환경에서 사용되어 왔다. 하지만 지식 공간 이론을 사용해왔던 많은 방법들이 주로 수작업을 통해 이루어져 왔고 이러한 작업을 지원하기 위해서 비주얼 베이직 혹은 R 등의 프로그램이 사용되어 왔지만 프로그램을 따로 배워야 하는 불편함과 시간적으로 낭비되는 등의 문제를 야기해 왔다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 지식 공간상에서 학습자들의 지식 구조를 자동으로 분석하고 결정적 학습 경로를 제공하는 이른바 지식 구조 분석 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 아파치 웹상에서 구현되었고, 카이 제곱 값을 산출하여 결정적 학습 흐름도를 도출하도록 하였다. 제안된 방법은 사용자가 웹에서 편리하게 학습자들의 지식 상태 분석할 수 있도록 환경을 제공하고 지식 구조의 체계적인 검토를 위한 방법을 제시해준다.

☞ 주제어 : 지식 공간 이론, 지식 구조 분석, 학습 교육, 자동 분석 시스템

ABSTRACT

Knowledge space theory is a theory that provides a guidelines for human learners' possible education decisions and has been used in various educational environment. However, traditional methodologies using the knowledge space theory have always depended on handwork system and it is necessary to learn programming language such as Visual Basic and R, causing time consuming situations. In order to overcome those issues on the environment of education we propose a new Knowledge Structure Analysis System that not just analyzes learners' knowledge structures automatically but to provide critical learning path for the learners based on knowledge space theory. Proposed system is implemented by using rApache generating critical learning path computing Chi-square value. This provides an automatic way of analyzing knowledge structure in learners' knowledge space and shows systematic reviews for the knowledge space.

☞ keyword : Knowledge space theory, Knowledge structure analysis, Education environment, Automatic analysis system.

1. 서 론

지식 공간(Knowledge Space)이란 학습자의 지식의 흐름과 상태를 설명하기 위해 특정한 공간을 구조적인 형태로 표현하여 분석하는 방법이다. 이 이론은 Doignon & Falmagne [1] 에 의해서 처음 발표된 이후 많은 영역에서 사용되어 왔고, 특히 학생들의 학습 평가 결과를 지식 공간에 반영하고 각 단계별 지식 체계를 분석하여 결과적으로 학생들의 학습 효과를 최대화 하는데 이용되어 왔다.

최근에는 학습자의 평가 결과에서 임의의 학생으로부터

터 나오는 피드백에 대한 오류를 보완하기 위해 학습자의 적합성을 판단하는데 지식 공간 이론이 이용되었고 [2], 또한 학습자에 대한 지식 경로를 평가하기 위해 지식 공간의 특정한 영역에서 동적으로 평가 가능한 평가시스템을 위해 지식 공간이론이 이용되기도 하였다 [3].

일반적으로 이러한 지식 공간 이론을 사용해 왔던 연구들은 주로 학습 평가 결과를 직접 작성하고 분석해 왔기 때문에 시간적으로 비효율적 이었고, 예기치 않은 실수로 인한 오류를 범하기 쉬운 상태에 놓이기 쉬웠다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 통계 프로그래밍 언어인 R [4]을 이용해서 용이하게 이러한 문제들을 해결해 왔다. 특히 R 은 DAKS [5] 라고 불리는 지식 공간 이론을 위한 데이터 분석 패키지를 제공해 왔고 여러 패키지 집합 [6]과 그들과의 관계 [7]를 분석해주는 방법 혹은, Bioconductor로 부터의 Rgraphviz [8]를 제공하는 등 사용자가 R을 이용해서 지식 공간 이론을 사용하기 편리하도록 여러 분야

¹ Department of Computer Science, Georgia State University, Atlanta, 30303, USA

² Department of Computer Science, University of Suwon, Gyeonggi-do, 445-743, Korea

* Corresponding author (sjmoon103@hotmail.com)

[Received 24 March 2015, Reviewed 25 March 2015, Accepted 9 June 2015]

에서 이를 제공해왔다. 최근에 지식 공간 이론 패키지 [9]가 R에 추가됨으로써 사용자들이 보다 쉽게 지식 공간 이론에 접근할 수 있게 되었다. 하지만 사용자들은 지식 공간 이론을 사용하기 위해서 R을 배워야 하는 번거로움이 있고, R에서 새로운 패키지가 나오거나 혹은 제공하지 못하는 부분에 대해서 따로 수정작업을 해야 하기 때문에 이를 보완하기 위한 방법이 필요하게 되었다. rApache project [10]는 DSC 2005에서 시작된 아파치 프로젝트 중 하나로 아파치 웹 서버에 R을 연동하여 사용자들이 웹 애플리케이션에 접근할 수 있도록 하는 계기를 마련해 왔다.

본 논문에서는 지식 공간 이론을 이용하기 위해서 직접 분석하는 어려움이나 R을 이용해서 하는 프로그래밍의 단점을 보완하기 위해서 웹에서 지식 공간 이론을 쉽게 사용할 수 있도록 지식 공간이론 웹 시스템을 설계하고 구현하였다. 논문에서 기여하는 부분은 크게 세 가지로 볼 수 있다. 첫째, 구현된 웹 시스템은 프로그래밍에 어려움을 가지고 있는 사용자들이 지식 공간 이론을 사용하여 데이터를 분석하고 자 할 때 편리하게 언제 어디서든 접근 할 수 있다. 둘째, 구현된 웹 시스템은 기존 비주얼 베이직 등 다른 프로그램에서 실행해야 했던 Chi-squared 계산을 제공한다. 셋째, 구현된 웹 시스템은 학습 평가의 결과로 지식 구조 (Knowledge Structure)와 결정적 학습 경로(Critical Learning Path)을 보여 준다.

2장에서는 지식 공간 이론에 대해서 자세히 설명을 하도록 하고, 3장에서는 제안된 시스템을 평가하고 그 결과에 대해서 기술하기로 한다. 마지막으로 4장에서는 결론과 향후 연구과제에 대해서 설명하도록 한다.

2. 본 론

2.1 지식 공간을 위한 지식 구조와 결정적 학습

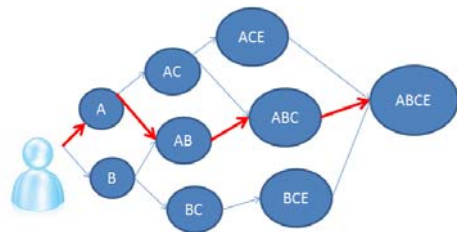
일반적으로 수리심리학의 영역에서 지식 공간이란 어떤 특정한 지식 공간의 영역에서 학습자의 가능한 지식 상태를 설명하기 위한 이론적 지식 구조를 말한다. [11] 지식 공간 이론이란 이러한 학습자의 이론적 지식 구조를 바탕으로 그들의 지식 상태를 계산함으로써 여러 종류의 테스트나 학습지도를 위해 사용되어 왔다. [12][13] 이 이론의 기본 개념은 학습자의 지식 상태를 학습자가 해결 가능한 문제의 집합으로 본다 는 것이다.

예를 들어, 한 학생의 지식 상태는 그 학생이 풀 수 있는 질문의 한 형태로 볼 수 있다는 것이다. 더 자세한 예

를 들어보자. 하나의 지식 상태를 한 집합 이라고 하고 그 집합 안에 A와 B라는 문제가 있다고 가정해 보자. 여기서 A를 곱셈에 대한 유형의 문제라고 하고 B는 덧셈과 곱셈에 대한 유형의 문제라고 하고 학생은 두 문제를 풀 수 있다고 하자. 만약 그 학생이 B라는 문제를 풀 수 있다면 우리는 아마도 그 학생이 A라는 문제도 역시 풀 수 있다고 추측 할 수 있다. 왜냐하면 B라는 문제의 유형의 A라는 문제의 유형이 가지고 있는 곱셈에 대한 문제를 포함하기 때문이다.

사실상 위에서 언급된 시나리오는 지식 공간상에서 오직 두 개의 요소 혹은 문제만을 사용하기 때문에 상당히 단순하다고 할 수 있다. 하지만 실제로 지식 공간 이론을 이용해서 학습자들을 위한 지식 상태를 측정하는 일은 시간적으로 매우 까다로운 일이다. 실제로 Information and Communication Technologies (ICT) 과제 중에 유럽 연합에서 지원하는 협력 프로젝트 중에 하나인 NEXT-TELL [14]은 21세기 특정 기술들에 집중해서 평가 방법을 개발하기 위해 101가지의 각 기술들과의 관계를 지식 공간으로 표현하기도 하였다.

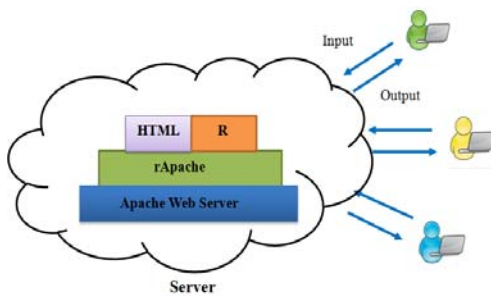
이러한 지식 공간을 표현하기 위해 학습자의 지식 구조를 결정해야 하는데 본 논문에서는 학습자의 응답 결과는 지식 구조와 결정적 학습 경로를 결정하기 위해 분석하기로 한다. 즉 응답 상태는 학습자가 올바른 답을 선택한 질문들의 집합으로부터 유도되고, 유도된 응답 상태는 지식 공간에서 그 구조를 분석하기 위한 식별자로서 사용된다. 이러한 응답 상태는 지식 상태라고 표현되기도 하며, 그 요소들에 의해 계산된 값들은 결정적 학습 경로를 위한 중요한 값으로 사용되고, 학습자의 적절한 학습 성취를 위해서 결정적 학습 경로를 결과로 나타내게 된다. 그림 1 은 지식 공간에서 학습자의 지식 구조의 예를 보여주고 있다. 굵게 표현된 선은 학습자의 결정적 학습 경로를 보여주는데 이 경우 학습자의 결정적 학습 경로는 A-B-C-E 가 된다.



(그림 1) 결정적 학습 흐름도
(Figure 1) Critical Learning Data Flow

2.2 지식 공간 분석을 위한 지식 상태 분석 시스템

이번 장에서는 지식 공간을 분석하기 위해 제안된 지식 상태 분석 시스템에 대해서 소개하도록 한다. 그림 2는 개략적인 본 논문에서 제안된 지식 상태 분석 시스템 디자인을 보여준다. 사용자들은 서버에 접속해서 학습자의 응답상태를 입력하게 되면 서버에서 계산을 통해 지식 구조와 결정적 학습 경로 등을 받아 볼 수 있게 된다. 시스템 특징에 대해서는 다음 장에서 추가적으로 자세히 설명 될 것이다.



(그림 2) 지식 상태 분석 시스템

(Figure 2) Knowledge state analysis system

본 장에서는 먼저 학습자의 응답 상태로부터 어떻게 지식 공간을 유도했는지 설명하도록 하고, 다음으로 Chi-square 값을 계산하는 방법을 그리고 마지막으로 지식 구조와 결정적 학습 경로를 유도하는 과정을 설명하도록 한다

2.1.1 지식 구조 변환

지식 상태 분석 시스템에서 처음 사용자가 데이터를 입력할 때 원본 데이터들은 가정된 지식 구조 상태로 변환이 된다. 일반적으로 지식 공간에서 학습자들의 응답 데이터들은 응답의 유무에 따라 2진수로 표현되고 이러한 데이터들은 새로운 지식 구조로 변환되면서 필요에 따라 상태를 추가한다거나 상태의 위치를 바꾸게 되는데 이른바 가정된 지식 구조들로 변하게 되고 이러한 가정된 지식 구조는 후에 실제 지식 구조의 상태와 비교하는데 사용된다. 이때 Chi-square를 이용하여 그 차이를 계산하게 된다. 제안된 시스템에서는 이러한 초기 지식 응답의 입력 값을 기반으로 필요한 지식 구조를 계산하게 되고 이를 바탕으로 가정된 지식 구조를 도출하게 된다. 제안된 시스템은 두 가지의 가정된 지식 구조 방법을 제공

한다.

그림 3은 이러한 두 가지 지식 구조의 변환을 보여준다. 가장 좌측에 위치한 응답 상태의 데이터에서 첫 번째 행의 2진수 데이터들은 학습자들에 대한 각 질문을 나타내고 있고 두 번째 행은 응답한 학습자의 수를 나타낸다. 즉 1111011은 총 7개 항의 질문을 나타내고 우측에 위치한 1은 응답한 학습자의 수가 한 명임을 나타낸다. 중앙에 위치한 응답 상태는 변환된 응답 상태를 보여주는데 초기 입력한 응답 상태와 유일한 다른 점은 모든 응답자의 수를 0으로 변환한 것이다. 이것은 추후에 Chi-square를 이용하여 예상되는 지식 구조의 상태와 실제의 지식 구조 상태를 비교할 때 사용된다. 가장 우측에 위치한 응답 상태의 구조는 언급된 두 구조와는 다르게 표현된다. 즉 이 상태는 첫 번째 응답 상태를 지식 구조로 변환할 때 초기 상태와는 다른 지식 상태를 추가함으로써 추후에 비교 할 수 있도록 하기 때문이다. 이렇게 변환된 지식 구조는 다음 절에서 Chi-square를 구하기 위해서 사용된다.

Response states	Assumed structure	Converted structure
1111011 1	1111011 0	0000000 0
1110110 2	1110110 0	0000010 0
1110011 1	1110011 0	0100010 0
1101110 1	1101110 0	0000011 0
1100011 2	1100011 0	1100010 0
1100010 1	1100010 0	1010010 0
...
0100010 1	0100010 0	1111011 0
0010110 1	0010110 0	1110111 0
0001111 1	0001111 0	1101111 0
0000011 1	0000011 0	1011111 0
0000010 7	0000010 0	0111111 0
0000000 6	0000000 0	1111111 0

(그림 3) 지식 구조 변환

(Figure 3) Knowledge state conversion

2.1.2 Chi-square 계산

주로 지식 공간을 분석하기 위한 Chi-square의 계산은 예상되는 지식 상태의 구조와 실제 지식 상태의 구조 사이의 차이를 알기위해 사용 되어왔다. 전통적으로 이 계산들은 Potter's 프로그램 [9] 이라고 불리는 코드를 이용해서 수행되어 왔는데 이 코드는 Visual Basic Program에서 실행을 시킬 수 있었기 때문에 따로 코드를 이해해야 하거나 지식 공간의 상태를 변환 하고자 할 때 직접 코드를 수정해야 하는 번거로움이 있었다. 본 논문에서는 Potter's 프로그램을 통계 프로그램인 R을 이용해서 웹에서 계산하도록 하였다

(표 1) Chi-square 계산
(Table 1) Chi-square computation

1. Put response states and population
2. Set initial knowledge states
3. Convert knowledge states
4. while knowledge states exist
compute probability and predicted population
compute chi-square
end
5 Return total chi-square

Table 1은 이러한 Chi-square의 값을 유도하기 위한 계산 방법을 보여준다. 알고리즘의 입력 값으로는 초기 응답 상태와 학습자의 수를 할당 받고 출력 값으로는 모든 Chi-square의 값을 합한 결과를 보여준다. 일단 응답 상태와 학습자의 수를 입력 받으면 초기 지식 상태를 설정하게 되는데 여기서 초기 지식의 상태를 설정 한다는 말은 입력 된 응답 결과를 집합으로 표현한 뒤 이를 지식 상태로 바꾼다는 말이다. 그 후 각 지식 상태에 대해서 학습자 수의 확률과 예상 되는 학습자 수의 확률을 계산한 뒤 마지막으로 Chi-square를 계산하게 되고, 모든 지식 상태를 계산한 뒤 총 Chi-square의 값을 합산해서 결과로 출력 하게 된다. 제안된 시스템은 이 모든 과정 역시 웹 상에서 사용자가 볼 수 있도록 제공하게 된다.

2.1.3 결정적 학습 경로 알고리즘

결정적 학습 경로들은 학습자가 어떤 주제에 대해서 가장 적절한 학습의 진도를 수행해 나아갈 수 있도록 방향을 제시함으로써 학습자의 학습 효과를 극대화 시키는데 의의를 두고 있다. 이러한 경로들은 주로 개념들의 계층적 집합으로 표현될 수 있는데 각 집합들은 가장 높은 학습자의 수를 가지는 지식 상태를 포함하게 된다. 본 논문에서 사용된 결정적 학습 경로를 위한 알고리즘은 Table 2와 같다.

알고리즘에서 입력 값은 지식 상태와 그에 대응하는 해당 학습자의 수를 나타내고, 출력 값으로는 결정적 학습 경로의 집합을 나타낸다. 지식 상태는 해당 학습자에 대한 질문들을 포함하고 있기 때문에 따로 질문의 수는 입력 값으로 포함하지 않도록 한다. 먼저 지식 상태와 학습자의 수가 입력 값으로 들어오게 되면 가장 높은 수를

가지는 지식 상태를 찾게 되는데 만약 이 지식 상태가 가장 적은 질문의 수를 포함하고 있다면 결정적 학습 경로의 최상단에 이 지식 상태를 위치하도록 한다. 그 다음은 결정적 학습 경로에 포함된 지식 상태의 집합에 대응하는 다른 상위 집합(superset)을 찾게 되는데 만약 이 상위 집합 중에 가장 많은 학습자의 수와 함께 가장 적은 질문의 수를 포함하는 지식 상태를 가지고 있다면 그 집합을 차 순위 결정적 학습 경로에 포함 시키도록 한다. 이 과정은 현재 결정적 학습 경로에 있는 집합에 대한 상위 집합이 더 이상 존재하지 않을 때까지 반복되게 된다. 마지막으로 결정적 학습 경로에 포함되는 모든 집합을 출력하게 된다. 본 논문에서 제안된 시스템은 이러한 지식 상태에 대한 결정적 학습 경로를 Table 2의 알고리즘을 사용해 각 단계별 지식 상태를 트리 구조로 보여주게 된다.

(표 2) 결정적 학습 경로 알고리즘
(Table 2) Critical learning path algorithm

<p>Input: $S_{k,p,q}$</p> <p>Output: S_c</p> <pre> foreach k do do find $S_{k,p,q}$ with max(p) if $S_{k,p,q}$ has min(q) $S_c \leftarrow S_k$ end find a superset of the state in c while $S_s \neq \emptyset$ end return S_c </pre> <p>, where $S_{k,p,q}$ is a set of knowledge states k with a population p and a question q. S_c is a set of critical learning path c. S_s is a superset of S_c.</p>
--

3. 시스템 실험 및 분석

이번 장에서는 2장에서 제시된 방법을 기반으로 구현된 시스템을 구체적으로 설명하고 다른 접근 방법들과 비교를 통해서 평가하도록 한다. 먼저 사용된 시스템에

대해서 설명하고 그 다음 다른 분석 방법들을 직관적으로 분석한 후 실제 학생들의 평가에 사용된 데이터를 사용해서 직접 계산된 방법과 제안된 시스템의 결과를 비교 평가하기로 한다.

3.1 시스템 환경

본 논문에서 제안된 시스템은 Linux(Fedora) 운영체제를 기반으로 설계되고 구현되었다. 지식 공간을 위해 사용된 모든 코드들은 이 운영체제 상에서 실행되고 사용된 소프트웨어는 다음과 같다.

- Operating System: Linux (Fedora 14)
- Web Server: Apache
- Web Development Tool: rApache 1.2.3
- Programming Languages: HTML, Javascript, R 2.13.1

각 프로그래밍 언어들은 Chi-square와 함께 지식 공간들을 만들어 내는데 사용되고, 웹 개발 툴인 rApache는 통계 프로그램인 R과 웹 서버인 Apache 사이를 연결시켜주게 된다. 결과적으로 사용자가 웹에서 지식 공간상의 데이터들을 쉽게 접할 수 있게 된다.

3.2 지식 공간 분석 도구 비교

학습자의 지식 공간에 대한 효율적인 분석을 위해 최근까지도 여러 종류의 지식 공간 분석 도구들이 사용되어 왔다. 이번 장에서는 본 논문에서 제안된 시스템 이외에 다른 지식 공간 분석을 위한 도구들과 여러 측면에서 비교 설명하도록 한다.

(표 3) 지식 공간 분석 도구
(Table 3) Knowledge space analysis tools

	WS	CS	IL	ACL	UP
proposed system	Yes	Yes	Html/R	Yes	kst, rgraphviz
potter's program	No	Yes	Visual Basic	No	No
kst package	No	No	R	No	kst
daks	No	No	R	No	rgraphviz

* WS: web support, CS: chi-square support, IL: implemented language, ACL: automatic critical learning path, UP: used packages

Table 3은 제안된 시스템과 지식 공간 분석 도구들의 비교를 보여준다. Data Analysis Method in Knowledge Space Theory (DAKS), Knowledge Space Theory (KST), Potter's program 등 기존 도구들과의 가장 큰 차이점은 제안된 시스템만이 웹에서 실행이 가능하다는 것이다. 이것은 프로그래밍 언어에 익숙하지 않은 사용자가 학습자들에 대한 지식 공간을 분석을 용이하게 만들 수 있다는 의미를 가진다고 할 수 있다. 또한 제안된 시스템은 다른 도구들마다 제공하는 특징들을 추가했고, 결정적 학습 경로를 자동으로 제공함으로써 사용자가 따로 학습 경로 분석을 하지 않아도 되는 장점을 가지고 있다. 다음 장에서는 제안된 시스템에서 제공하는 Chi-square의 값과 결정적 학습 경로의 값과 실제 전문가가 수작업으로 하는 결과와 비교해 보도록 한다.

3.3 지식 공간 분석 실험

이번 장에서는 구현된 시스템과 실제 값을 비교하기 위해서 Chi-square의 값과 결정적 학습 경로의 값을 각각 비교해 보도록 한다. 실험을 위해서 6주간의 "미적분학" 수업을 통해 평가된 학생들의 결과를 가지고 두 명의 전문가들이 각각 계산을 하도록 했다. Table 4는 실험에 사용된 실제 데이터를 보여준다. 첫 번째 테스트는 7개의 질문으로 이루어져 있고 두 번째 테스트는 6개의 질문으로 이루어져 있다. 각 질문은 "일차방정식", "이차방정식", "다항함수", "대수학", "확률", "삼각함수유도법", "삼각함수표현법" 등과 관련이 있고, 각 테스트 마다 가정된 응답 상태를 기준으로 A와 B로 구분하였고, 예상되는 Luck-guess와 Careless-error들에 대한 확률은 10%로 제한하였다.

(표 4) 테스트 1 과 테스트 2에 대한 실험 데이터 집합
(Table 4) Experiment on Test1 and Test2

	Test1-A	Test1-B	Test2-A	Test2-B
# Q	7	7	6	6
# S	39	39	44	44
# KRS	21	21	8	8
# ARS	21	52	8	20
LG	0.1	0.1	0.1	0.1
CE	0.1	0.1	0.1	0.1

* #Q: the number of questions, #S: the number of students, #KRS: knowledge response states, #ARS: assumed response states, LG: estimated probability for lucky-guess, CE: estimated probability for careless error

(표 5) 테스트 1 과 테스트 2에 대한 실험
(Table 5) Experiment for Test1 and Test2

	Test1-A	Test1-B	Test2-A	Test2-B
Manual	0.801358	11.50172	2.887248	7.845916
System	0.801358	11.50172	2.887248	7.845916

Table 5는 사용된 데이터를 가지고 실제 계산된 값과 제안된 시스템에서 나온 결과 값을 비교한 데이터이다. Test1-B 의 경우에는 테스트 결과 값으로 나온 소수점 6 번째 자리에서 반올림하였고, 나머지 테스트의 경우 소수점 7번째 자리에서 반올림하였다. 테스트 결과 모두 실제 계산해서 나온 값과 일치함을 볼 수 있다.

3.4 구현된 시스템 결과

이번 장에서는 구현된 시스템의 출력 과정을 보도록 한다. 그림 4는 Test2-B에서 실행된 결과를 웹에서 출력한 것이다. k는 각 질문에 대한 응답 상태를 나타내는데 0은 오답을 나타내고 1은 정답을 나타낸다. Prob 는 주어진 응답 상태에 대한 응답자 수의 확률을 나타내고 Pred_Pro 는 가정된 응답 상태에 대한 예상 응답자의 수를 나타낸다. Pop는 각 상태에 대한 학습자의 수를 나타내고 Chi-Sq 는 Chi-square 값을 나타낸다. 그림에서 왼쪽 상단에 위치한 ChisqT는 Chi-square 에 대한 모든 값을 의미한다.

ChisqT = 7.845916

k	Prob	Pred_Pop	Pop	Chi_Sq
000000	0.2846	12.523	17	1.6006
100000	0.0805	3.5411	2	0.6707
010000	0.1594	7.0124	7	0
000001	0.048	2.1108	1	0.5845
110000	0.1837	8.0814	10	0.4555
100001	0.0192	0.8451	0	0.8451
010010	0.0331	1.4567	1	0.1432
010001	0.028	1.2308	0	1.2308
110010	0.0221	0.9732	0	0.9732
110001	0.0976	4.2939	5	0.1161
011100	0.0176	0.7725	1	0.067
010011	0.0048	0.212	0	0.212
111100	0.004	0.176	0	0.176
110011	0.011	0.4855	0	0.4855
011110	0.0021	0.0942	0	0.0942
011101	0.0021	0.0914	0	0.0914
111110	5e-04	0.0205	0	0.0205
111101	0.0014	0.0615	0	0.0615
011111	3e-04	0.0111	0	0.0111
111111	2e-04	0.0069	0	0.0069

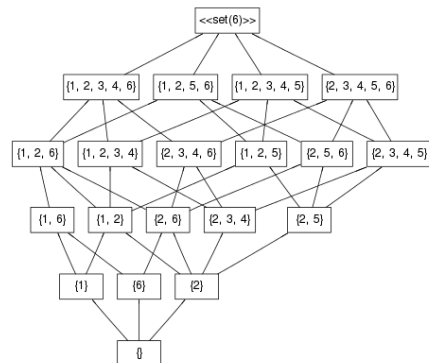
(그림 4) Test2-B에 대한 Chi-square 계산
(Figure 4) Chi-square computing for Test2-B

그림 5는 예상되는 학습자의 수를 각 위치의 집합으로 나타낸 것이다. 예를 들어 110000 의 경우 {1,2} 로 표현할 수 있다.

	Sets	Pred_Pop
1		12.523
2	1	3.5411
3	2	7.0124
4	6	2.1108
5	1, 2	8.0814
6	1, 6	0.8451
7	2, 5	1.4567
8	2, 6	1.2308
9	1, 2, 5	0.9732
10	1, 2, 6	4.2939
11	2, 3, 4	0.7725
12	2, 5, 6	0.212
13	1, 2, 3, 4	0.176
14	1, 2, 5, 6	0.4855
15	2, 3, 4, 5	0.0942
16	2, 3, 4, 6	0.0914
17	1, 2, 3, 4, 5	0.0205
18	1, 2, 3, 4, 6	0.0615
19	2, 3, 4, 5, 6	0.0111
20	1, 2, 3, 4, 5, 6	0.0069

(그림 5) Test2-B에 대한 학습자 집합
(Figure 5) Population set for Test2-B

그림 6은 시스템에서 보여주는 Test2-B에 대한 지식 구조를 사용자가 보기 쉽도록 그래프 형식으로 보여준다. 가장 하단에 위치한 집합에서 가장 상단에 위치한 집합까지의 가능한 모든 경로를 보여줌으로써 이 경로를 기반으로 결정적 학습 경로를 정하게 된다.



(그림 6) Test2-B에 대한 지식 구조
(Figure 6) Knowledge structure for Test2-B

그림 7은 결정적 학습 경로의 최종 결과 값을 보여준다. 따라서 Test2-B에 대한 가장 알맞은 학습 경로는 {2}-{1}-{6}-{5}-{3, 4} 의 문항 순으로 제시되어진다.

Result Matrix

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]
[1,]	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"	"12.523"
[2,]	"0"	"1"	"0"	"0"	"0"	"0"	"7.0124"
[3,]	"1"	"1"	"0"	"0"	"0"	"0"	"8.0814"
[4,]	"1"	"1"	"0"	"0"	"0"	"1"	"4.2939"
[5,]	"1"	"1"	"0"	"0"	"1"	"1"	"0.4855"
[6,]	"1"	"1"	"1"	"1"	"1"	"1"	"0.0069"

Result Critical Learning Path

-> {} -> { 2 } -> { 1 } -> { 6 } -> { 5 } -> { 3 4 }

(그림 7) 결정적 학습 흐름 결과

(Figure 7) Critical learning path result

4. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 지식 공간에서 학습자의 학습 상태를 자동으로 분석하기 위한 자동 지식 구조 분석 시스템을 설계 및 구현하였다. 제안된 시스템을 위해 Chi-square 의 값과 결정적 학습 경로를 찾기 위한 알고리즘을 제안했고, 시스템에서 출력된 값과 실제 계산해서 나온 결과 값을 비교하였다. 제안된 시스템은 기존 개개인이 계산하거나 프로그램을 이용해 계산해 왔던 부분을 웹으로 확장해서 구현된 시스템이다. 따라서 프로그램을 익숙하지 않은 사용자들이 쉽게 접근해서 그 결과를 확인할 수 있고 특히 학습 평가를 자동적으로 실행하고자 하는 곳에 많은 기여를 할 수 있다.

최근에는 학습자들의 문제 해결 능력을 추정하기 위하여 [15] 혹은 공식 개념들의 정리를 위하여 [16] 지식 공간을 이용하기 위한 연구에 대한 관심도 높아지고 있다. 본 논문에서 구현한 시스템은 이러한 개념 정리 및 추론까지 가능한 지능형 웹 공간 지식 시스템을 위한 기초 단계로 향후 새로운 이론 및 그에 따른 실험결과를 반영하여 사용자들이 쉽게 이용할 수 있는데 지능형 웹 시스템을 계획하고 있다.

참 고 문 헌 (Reference)

[1] Doignon, J.-P.; Falmagne, J.-Cl., "Spaces for the assessment of knowledge", *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 23, no. 2, pp. 175 - 196, 1985. [http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7373\(85\)80031-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7373(85)80031-6)

[2] Sitthisak, Onjira, Lester Gilbert, and Dietrich Albert. "Adaptive Learning Using an Integration of Competence Model with Knowledge Space Theory." In *Advanced*

Applied Informatics (IIAIAA), 2013 IIAI International Conference on, pp. 199-202. IEEE, 2013. <http://dx.doi.org/10.1109/IIAI-AAI.2013.15>

[3] Chen, Yang. "Adaptive Non-graded Assessment Based on Knowledge Space Theory." In *ICALT*, pp. 63-64. 2013. <http://dx.doi.org/10.1109/ICALT.2013.24>

[4] R project Available in: <http://www.r-project.org/>

[5] A Unlu and S. Anatol, "DAKS: An R Package for Data Analysis Methods in Knowledge Space Theory." *Journal of Statistical Software*, vol. 37, no. 2, pp. 1-31, 2010.

[6] Meyer D and Hornik K, "Generalized and Customizable Sets in R", *Journal of Statistical Software*, vol. 31, no. 2, pp. 1-27, 2009.

[7] Hornik K and Meyer D, "relations: Data Structures and Algorithms for Relations. R package version 0.5-8, <http://CRAN.R-project.org/package-relations>.

[9] Gentry J, Long L, Gentleman R, Falcon S, Hahne F, Sarkar D, Hansen K, "Rgraphviz:How To Plot A Graph Using Rgraphviz," R package version 1.26.0. <http://www.bioconductor.org/packages/release/bioc/html/Rgraphviz.html>.

[10] S. Christina, "Knowledge Space Theory", 2011. <http://cran.r-project.org/web/packages/kst/vignettes/kst.pdf>

[11] Project rApache, Available in: <http://rapache.net>.

[12] J.-P. Doignon and J.-C. Falmagne, "Knowledge Spaces," Springer Verlag, Heidelberg, 1999.

[13] J. Alsup and H. Stillson, "Smart ALEKS ... or not? Teaching Basic Algebra using an online interactive learning system," *Mathematics and Computer Education*, vol. 37 no. 3, pp. 329 - 336, 2003.

[14] M. Villano, "Probabilistic student models: Bayesian belief networks and knowledge space theory," In *Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Tutoring Systems*. Heidelberg, 1992, pp. 491 - 498. http://dx.doi.org/10.1007/3-540-55606-0_58

[15] D2.1 Specification of ECAAD Methodology V1, 2011. <http://next-tell.eu/project/overview>

[16] P. Reimann, M. Kickmeier-Rust, and D. Albert, "Problem solving learning environments and assessment: A knowledge space theory approach," *Computers & Education* vol. 64, pp. 183 - 193, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2012.11.024>

- [17] A. Spoto, L. Stefanutti, and G. Vidotto, "Knowledge space theory, formal concept analysis, and computerized psychological assessment," Behavior research methods, vol. 42, no. 1, pp. 342-350, 2010.
<http://dx.doi.org/10.3758/BRM.42.1.342>

● 저 자 소 개 ●



이 상 훈 (Sanghoon Lee)

2004년 수원대학교 컴퓨터학과 졸업(학사)
2006년 수원대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(석사)
2013년 조지아 주립대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(석사)
2013 ~ 현재 조지아 주립대학교 대학원 컴퓨터학과 박사과정
관심분야 : 데이터 마이닝, 시멘틱 웹, 빅 데이터기반 텍스트 마이닝, etc.
E-mail : shlee8020@gmail.com



문 승 진 (Seung-jin Moon)

1986년 텍사스대학교 컴퓨터학과 졸업(학사)
1991년 플로리다 주립대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(석사)
1997년 플로리다 주립대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(박사)
1997 ~ 현재 수원대학교 컴퓨터학과 교수
관심분야 : 데이터베이스, 실시간 데이터베이스, 모바일 데이터베이스, 실시간 시스템, 임베디드 시스템 etc.
E-mail : sjmoon103@hotmail.com