

이러닝 문제은행기반 출제 시스템을 위한 동적 난이도 조정 정책

김은정*, 이상관*, 김성곤*

*부산가톨릭대학교

Dynamic Degree of Difficulty Adjustment Policy for E-learning Databank Based Selection System

Eun-jung Kim*, Sang-kwan Lee*, Seong-kon Kim*

*Catholic University of Pusan

E-mail : ejkim@cup.ac.kr , sklee@cup.ac.kr , skkim@cup.ac.kr

요약

이러닝 문제은행 기반의 출제 시스템에서 평가를 위해 출제되는 문제들은 주로 난이도에 따른 자동 출제 방식을 이용하고 있다. 이러한 방식은 출제 시점의 문제 난이도가 문제 출제에 핵심이기 때문에 무엇보다 객관적이고 효율적인 방법으로 문제의 난이도에 대한 지속적인 관리가 필요하다. 본 논문에서는 웹 기반의 학습 시스템에서 보다 효율적인 문제 출제를 위해, 평가 결과를 바탕으로 해당 문제들의 난이도를 동적으로 재조정하는 보다 향상된 알고리즘을 제시한다. 제시된 알고리즘을 구축된 웹기반 학습 시스템에서 기존 알고리즘과 비교 분석해 본 결과 보다 효율적임을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Most questions made for remote examinations on E-learning databank based selection system use methods of making questions automatically using degree of difficulty. This methods is the kernel of a question selection that degree of difficulty as make test questions, and then needs continuous management for degree of difficulty. This paper present improved algorithms for dynamically adjustment of degree of difficulty based on examination result that is more efficient set of question. We identified this algorithms is more effective as compared with previously algorithms on web-based education system.

키워드

원격 교육, 문제은행 출제시스템, 난이도 재조정, 가상교육 평가시스템

1. 서론

이러닝 학습 시스템은 가상의 공간에서 교수자와 학습자가 상호 작용으로 교수 학습할 수 있는 방법으로서, 교수는 웹 상에서 학습 내용을 입력하고 평가를 위한 문제 출제를 한다. 그리고 학습자도 웹을 통해 학습을 하고 자신의 학습 능력을 평가하기 위해 웹 상에서 주어지는 문제를 풀고 결과를 바로 확인함으로써 부족한 부분의 재학습이 이루어진다. 따라서 온라인 상에서 출제된 문제로 평가한 학습자는 평가 결과로써 자신의 학습 성취도를 판단하기 때문에 문제 은행 시스템의 각 문제의 난이도는 그 객관성이 가장 핵심적이고 중요한 문제라고 할 수 있다. 이에 보다 효율적인 평가를 위해서 문제 출제 방식 및 효율적인 문제 관리에 대한 연구가 많이 있어 왔다. 이 중에서 난이도를 고려한 문제 추출에서는 문제를 데이터베이스에 등록할 때 최초 해당 문제의 난이도를 교수가 직접 입력하고, 이를 바탕

으로 문제가 출제되고 평가 결과로서 다시 난이도를 재조정함으로써 문제를 관리한다. 이는 초기 난이도 부여의 객관성 입증과 함께 현재 문제의 난이도가 바로 다음 문제 출제에 직접적인 영향을 미치므로 보다 객관적이고 효율적인 방법으로 난이도를 재조정함으로써 문제의 신뢰성을 유지하는 것이 무엇보다 중요하다.

본 논문에서는 출제된 문제의 평가 결과로서 문제의 난이도를 재조정함에 있어서 학습자의 학습 능력을 고려한 향상된 난이도 재조정 알고리즘을 제시한다. 제시된 알고리즘에서는 학습자의 학습 능력을 고려하기 때문에 전체 시험 응시자수 대비 정답자수만을 고려하여 난이도를 재조정하는 기존 알고리즘에서의 문제점을 보완할 수 있을뿐만 아니라, 이전 연구[3]에서 학습자의 실수의 가능성으로 인한 정답 및 오답의 결과가 난이도를 큰 폭으로 변화시키는 문제점을 개선할 수 있는 보다 향상된 알고리즘을 제시한다.

논문의 구성은 제 2장에서 웹 기반 학습 시스템에서 난이도 재조정에 대한 기존의 연구를 기술하고 본 논문의 설계 방향을 설명한다. 제 3장에서는 본 논문에서 제시하는 문제은행기반 출제 시스템에서의 동적 난이도 관리 정책에 대해서 설명한다. 제 4장에서는 본 논문에서 제시하는 알고리즘과 기존의 알고리즘을 구현 결과로써 비교 분석한다. 마지막으로 제 5장에서 결론으로 매듭을 짓는다.

II. 관련 연구 및 설계 방향

웹 기반 교육에서의 평가 방법에 관한 많은 연구 중에서, [1]에서의 난이도에 따른 자동 문제 출제를 살펴보면 문제 은행 데이터베이스에 등록되는 문제들은 출제자가 주관적인 판단에 의해 5단계 중에서 임의의 난이도를 부여한다. 그리고 각 문제의 난이도를 기반으로 예상 평균 점수와 출제 문제수에 따라 출제되는 문제들의 정답률의 평균이 예상 평균점수가 되도록 자동 출제한다. 다음으로 출제된 문제들의 평가 결과를 기반으로 각 문제의 난이도를 재조정함에 있어서는 총시험 응시자수 대비 정답자수로서 정답률을 계산하여 이러한 정답률을 기반으로 난이도를 재조정하였다. 그리고 시험 횟수가 증가하게 되면 누적 총시험응시자수 대비 누적정답자수로서 정답률의 신뢰성을 높이도록 한다. 이와 같이 대부분의 기존 연구에서는 이러한 방법으로 난이도를 재조정하고 있다. 즉 정답을 맞춘 응시자가 많을수록 난이도가 낮은 문제이고 정답을 맞춘 응시자가 적을수록 난이도가 높은 문제로 간주하고 있다. 이러한 과정에서 재조정된 문제의 난이도는 다음 문제 출제에 바로 반영이 된다. 이러한 기존 연구에서는 초기 난이도 부여의 객관성뿐만 아니라 시험을 치른 학습자 개인 또는 집단의 학습 능력이 전혀 고려되지 않기 때문에 단순히 문제를 맞춘 정답자수로서 정답률을 계산하여 문제의 난이도를 재조정한다는 것은 객관성이 떨어진다.

본 논문에서는 난이도 재조정을 함에 있어 전체 시험 응시자수 대비 정답자수로서 계산되어지는 정답률 뿐만 아니라 시험 응시자의 학습 능력을 함께 고려하여 문제의 난이도를 재조정한다. 이는 시험을 치른 개인이나 집단의 평균 점수에 따라 해당 문제의 쉬운 정도와 어려운 정도를 달리 측정한다. 먼저, 그룹별 평가에서는 전체적으로 평점이 높은 집단에 비해 전체적으로 평점이 낮은 집단의 응시자들이 맞춘 문제는 상대적으로 난이도가 더 낮게 측정되어지고, 전체적으로 평점이 낮은 집단에 비해 평점이 높은 집단에서 틀린 문제는 상대적으로 난이도가 더 높게 측정되어진다. 다음으로 평균점수를 고려하여 난이도를 재조정함에 있어, 기존의 같은 평점대의 결과를 누적 관리하여 현재 난이도 조정에 함께 고려함으로써 특정 학습자의 실수의 가능성으로 인한 정답 및 오답으로 난이도가 큰폭으로 변화되는 문제점을 최소화하였다.

III. 동적 난이도 관리 정책

3.1 데이터베이스 구조

이전의 연구[2]에서 기사 시험을 위한 웹기반 학습 시스템을 설계한 바 있다. 온라인 학습 시스템에서 사용하는 데이터베이스는 전체 7개의 테이블로 구성되어 있다. 이 중에서 본 논문에서는 문제 출제 및 난이도 재조에 초점을 맞추고자 하므로 시험 문제를 관리하는 [과목별문제관리테이블]과 각 문제의 개인별, 그룹별 평가 결과를 관리하는 [Private_result], [Group_result] 테이블에 대한 구조만을 다루고자 한다. 각 테이블의 구조는 <표 1>, <표 2>, <표 3>과 같다. 각 문제의 난이도는 정답률과 오답률을 기초하여 <표 4>과 같이 난이도비율로 관리된다.

표 1. '과목별문제관리' 테이블의 구조

필드명	데이터형식	비고
번호	int	각 문제를 식별하는 번호
문제	string	
보기1	char	
보기2	char	
보기3	char	
보기4	char	
정답	char	정답 표기(예 : 보기3)
난이도	char	초기치 '중'
난이도비율	int	초기치는 50(백분율로 표기)
문제등록일	date	최초 문제 등록일
최종수정일	date	가장 최근의 난이도 조정일

표 2. 'Private_result' 테이블의 구조

필드명	데이터형식	비고
번호	int	각 문제를 식별하는 번호
90_correct	int	평균 90점대 정답 인원수
90_error	int	평균 90점대 오답 인원수
80_correct	int	...
80_error	int	...
70_correct	int	...
70_error	int	...
:	:	:
20_correct	int	...
20_error	int	...
10_correct	int	평균 10점대 정답 인원수
10_error	int	평균 10점대 오답 인원수

표 3. 'Group_result' 테이블의 구조

필드명	데이터형식	비고
번호	int	각 문제를 식별하는 번호
90_correct	int	평균 90점대 정답 인원수
90_error	int	평균 90점대 오답 인원수
80_correct	int	...
80_error	int	...
70_correct	int	...
70_error	int	...
:	:	:
20_correct	int	...
20_error	int	...
10_correct	int	평균 10점대 정답 인원수
10_error	int	평균 10점대 오답 인원수

표 4. 난이도별 비율

난이도	난이도비율	비고
상	20%이하	아주 어려운 문제
상중	21 ~ 40%	어려운 문제
중	41 ~ 60%	보통인 문제
중하	61 ~ 80%	쉬운 문제
하	81%이상	아주 쉬운 문제

[Private_result] 테이블은 모든 개인별 평가 결과에 따른 정답자수와 오답자수를 관리하고, [Group_result] 테이블은 그룹별 평가 결과에 따른 정답자수와 오답자수를 관리하여 난이도 재조정시 기존 같은 평균점수대의 정답자수와 오답자수를 함께 반영함으로써 실수에 의해서 난이도가 급격하게 변화하는것을 제어할 수 있게 한다.

3.2 동적 난이도 재조정 관리 정책

본 논문에서는 처음 문제를 등록할 때에 교수자에 의해 부여되는 난이도의 객관성 문제를 해결하기 초기 난이도는 교수자의 의도를 배제하고 모두 '중'으로 부여한다. 따라서 난이도비율도 50으로 부여한다. 그리고 학습자들의 평가가 이루어짐에 따라 자동적으로 해당 문제에 대한 정답률과 오답률을 계산하여 난이도 비율과 난이도 조정이 이루어진다. 이는 초기 난이도를 부여함에 있어 출제자의 주관적인 관점에서 난이도를 부여하는데서 오는 출제 문제의 객관성이 결여되는 단점을 보완할 수 있다.

3.2.1 개인별 평가

학생 개개인의 평가에 따른 난이도 조정은 학생 개인의 학습 능력에 따라 다음의 2가지 관점에서 재조정된다. 먼저, 하나의 문제에 대해 학습 능력이 높은 학생과 학습 능력이 낮은 학생이 문제를 맞추었거나 또는 틀렸을 경우, 해당 문제에 대한 난이도가 서로 다르게 부여되어야 한다. 이는 한 문제를 특정 학습자가 맞추었다고 할 때 학습 능력이 높은 학습자와 낮은 학습자의 경우에 쉬운 정도가 서로 다르다는 의미이다. 이를 위해 학습자의 평균점수를 난이도 조정에 이용한다. 다음으로 학습 능력이 높은 학생이 난이도가 비교적 낮은 문제를 틀렸을 경우, 해당 문제는 난이도가 많이 상승하게 된다. 또한 학습 능력이 낮은 학생이 난이도가 비교적 높은 문제를 맞았을 경우에도 해당 문제의 난이도는 많이 낮아지게 된다. 이 경우 학습자의 실수에 의한 정답 및 오답일 경우에는 난이도 재조정이 비효율적일 수 있다. 이를위해 모든 문제는 현재 학습자의 평균점수와 기존의 같은 평점대의 학습자의 평가 결과로서 정답률과 오답률을 계산하여 난이도 비율을 재조정한다. 즉, 특정 문제를 맞힌 경우에 다음의 정답률로서 난이도 비율을 재조정한다.

$$\text{난이도비율}(\%) = c_different_rate + correct_rate$$

$$correct_rate(\%) = \frac{10}{average_p} * \frac{correct_{avg}}{total_{avg}} * 0.5$$

단, $0 \leq \text{난이도비율} \leq 1$

c_different_rate : 현재의 난이도비율,

correct_rate : 정답률,

average_p : 개인 평균점수, 0.5 : 초기 난이도 비율

total_avg : 같은 평점의 기존 응시자 인원수

correct_avg : 같은 평점의 기존 응시자중 정답자 인원수

그리고 틀린 문제의 경우에는 아래의 오답률로서 조정한다.

$$\text{난이도비율}(\%) = c_different_rate - error_rate$$

$$error_rate(\%) = \frac{average_p}{100} * \frac{error_{avg}}{total_{avg}} * 0.5$$

단, $0 \leq \text{난이도비율} \leq 1$, error_rate : 오답률,

error_avg : 같은 평점의 기존 응시자중 오답자 인원수

예를 들어, 난이도비율이 50%인 하나의 문제에 대해 2명의 학습자가 정답을 맞힌 경우를 보자. 한 학습자는 평균점수가 90점이고, 한 학습자는 평균 점수가 10점이다. 특정 문제에 대한 정답률과 오답률에 의한 난이도비율의 변화는 다음과 같다.

$$\text{평점 10점, 맞힌 문제: } 0.5 + \left(\frac{10}{10} * \frac{1}{1} * 0.5\right) = 1(100\%) : \text{하}$$

$$\text{틀린 문제: } 0.5 - \left(\frac{10}{10} * \frac{1}{1} * 0.5\right) = 0.45(45\%) : \text{중}$$

$$\text{평점 90점, 맞힌 문제: } 0.5 + \left(\frac{10}{90} * \frac{1}{1} * 0.5\right) = 0.55(55\%) : \text{중}$$

$$\text{틀린 문제: } 0.5 - \left(\frac{90}{100} * \frac{1}{1} * 0.5\right) = 0.05(5\%) : \text{상}$$

그리고 현재 난이도가 '하'인 문제에 대해 평균 90점대인 학습자가 틀린 경우의 예를 보자. 현재의 문제에 대해 기존 학습자들 중에서 평균 점수가 90점대인 총인원수 9명 중에서 맞힌 인원수가 9명이라고 가정했을때, 현재의 평균 90인 학습자가 해당 문제를 틀렸을 경우의 난이도 변화율은 다음과 같다.

$$\text{평점 90점, 맞힌 경우: } 1 + \left(\frac{10}{100} * \frac{10}{10} * 0.5\right) = 1(100\%) : \text{하}$$

$$\text{틀린 경우: } 1 - \left(\frac{100}{100} * \frac{1}{10} * 0.5\right) = 0.95(95\%) : \text{하}$$

마찬가지로 현재의 난이도 '상' 인 문제에 대해 기존 학습자들 중에서 평균 점수가 20점대인 총인원수 9명 중에서 틀린 인원수가 9명이라고 가정했을때, 현재의 평균 20인 학습자가 해당 문제를 맞힌 경우의 난이도 변화율은 다음과 같다.

$$\text{평점 20점, 틀린 경우: } 0.1 - \left(\frac{20}{100} * \frac{10}{10} * 0.5\right) = 0(0\%) : \text{상}$$

$$\text{맞힌 경우: } 0.1 + \left(\frac{10}{20} * \frac{1}{10} * 0.5\right) = 0.12(12\%) : \text{상}$$

3.2.2 특정 집단의 모의 평가

특정 집단의 학생들이 단체로 시험에 응시하는 경우의 난이도 조정은 시험을 치른 집단의 전체 학습 능력에 따라 맞춘 문제의 쉬운 정도와 어려운 정도를 달리 측정한다. 이를 위해 총 시험 응시자수 대비 정답자수와 함께 집단의 전체 평균 점수 그리고 이전의 그룹별 평가 결과에서 같은 평점대의 전체 응시자수 대비 정답자수도 같이 고려하여 난이도를 재조정한다. 따라서 특정 집단의 모의 평가 결과에서 해당 문제를 맞춘 응시자수가 많을 경우에는 정답률을, 해당 문제를 틀린 응시자 수가 많을 경우에는 오답률을 계산하여 다음과 같이 난이도 비율을 재조정한다.

$$\text{난이도비율}(\%) = c_different_rate + correct_rate$$

$$correct_rate = \frac{correct_{cnt} * 10}{total_{cnt} * average_g} * \frac{p - correct_{cnt}}{p - total_{cnt}}$$

$$\text{난이도비율}(\%) = c_different_rate - error_rate$$

$$error_rate = \frac{error_{cnt}}{total_{cnt}} * \frac{average_{ol}}{100} * \frac{p - error_{cnt}}{p - total_{cnt}}$$

- 단, 0 <= 난이도비율($\%)$ <= 1
- c_different_rate : 현재의 난이도비율
- total_cnt : 현재 응시그룹의 총인원수
- correct_cnt : 현재 응시그룹에서 정답자 인원수
- error_cnt : 현재 응시그룹에서 오답자 인원수
- average_g : 그룹의 평균점수
- p-total_cnt : 이전 그룹들의 같은 평점대의 총인원수
- p-correct_cnt : 이전 그룹들의 같은 평점대의 정답자수
- p-error_cnt : 이전 그룹들의 같은 평점대의 오답자수

IV. 실험 결과 및 분석

이전의 연구[2]에서 설계 및 구현하여 현재 일부 운영중인 웹 기반 학습 시스템에서 기존의 알고리즘과 이전의 연구 결과 그리고 본 논문에서 제시하는 알고리즘을 각각 실험하여 그 결과를 비교 분석하였다.

그룹별 평가에 대한 분석을 위하여 전체 응시자수 대비 정답자수를 이용하여 난이도를 조정하는 기존 [1]의 알고리즘(알고리즘A)과 본 논문에서 제시하는 알고리즘(알고리즘B)을 실험하여 그 결과를 비교하였다. 그룹의 총인원수를 10명으로 한정하여 전체 10개의 그룹에 대해 차례대로 그룹별 평가를 하였다. 그리고 각 그룹별 평가를 할 때 출제되는 20문제 중 각각의 서로 다른 난이도를 가지는 특정 문제 5개를 반드시 포함하여 출제하여, 평가 결과로서 위의 두 알고리즘을 적용하여 특정 문제 5개중에서 난이도가 '하'에 가깝다고 판단되는 문제의 난이도가

변해 가는 과정을 비교, 분석한 결과는 <표 5>, <그림 1>과 같다. 결과에서 알 수 있듯이 알고리즘A는 평가하는 학습자들의 학습 능력이 고려되지 않고 단지 정답자수만으로 난이도를 조정함으로 인해서 각 그룹의 평가 결과의 폭이 아주 큰 반면, 학습 능력이 고려된 알고리즘B에서는 난이도에 대한 변화의 폭이 크지 않으며 기존 알고리즘에 비해 보다 빠르게 해당 난이도에 접근함을 확인할 수 있다.

표 5. 그룹평가에 대한 난이도 조정

그룹	총인원수	그룹평균	정답자수	알고리즘A		알고리즘B	
				정답률	난이도	난이도비율	난이도
1	10	30	2	0.2	상	0.26	상중
2	10	50	8	0.8	중하	0.42	중
3	10	35	5	0.5	중	0.56	중
4	10	90	10	1	하	0.67	중하
5	10	98	10	1	하	0.77	중하
6	10	20	0	0	상	0.77	중하
7	10	80	9	0.9	하	0.87	하
8	10	55	8	0.8	중하	1	하
9	10	25	1	0.1	상	0.78	중하
10	10	60	6	0.6	중	0.87	하
누적	100		59	0.59	중		

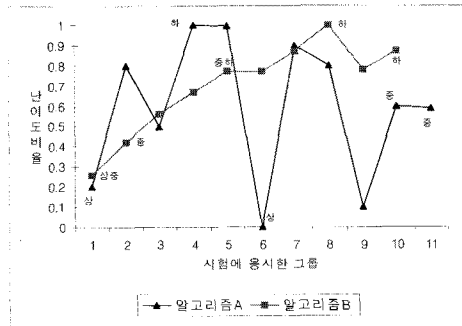


그림 1. 그룹평가에 의한 난이도 변화 그래프

다음으로 개인별 평가에 따른 재조정에 대한 분석 결과이다. 기존 알고리즘[1]에서는 개인별 평가에 따른 재조정이 없기 때문에 본 논문에서는 특정 개인의 학습 능력을 고려하여 난이도를 재조정함에 있어서 실수의 가능성을 제외하지 않은 이전 연구[3](알고리즘P)와 본 논문에서 제시하는 실수의 가능성을 제외했을 경우(알고리즘Q)를 비교, 분석하였다. 이를 위해 난이도가 '상'에 가깝다고 판단되는 문제를 10명의 학생들에게 출제하여 평가 결과로서 난이도가 변해가는 과정을 실험한 결과가 <표 6>, <그림 2>와 같다. 결과에서 평점 24점인 10번째 학습자의 경우를 보자. 기존 같은 평점대의 평가 결과 정보를 참조하지 않는 알고리즘P의 경우에는 평점이 매우 낮은 학생이 맞추었기 때문에 난이도가 '상중'에서 '중

하로 변화되는 반면, 기존 학생의 결과를 참조하는 알고리즘Q의 경우에는 그대로 '상'에 있음을 확인할 수 있다.

표 6. 개인별평가에 대한 난이도 조정

학생	평균	정답부	알고리즘P		알고리즘Q	
			난이도비율	난이도	난이도비율	난이도
1	95	O	0.6	중	0.5	중
2	80	X	0.12	상	0.08	상
3	70	X	0.04	상	0	상
4	20	X	0.04	상	0	상
5	60	O	0.2	상	0.08	상
6	0	X	0.2	상	0.08	상
7	25	X	0.15	상	0	상
8	40	X	0.09	상	0	상
9	75	O	0.22	상중	0.03	상
10	24	O	0.63	중하	0.09	상

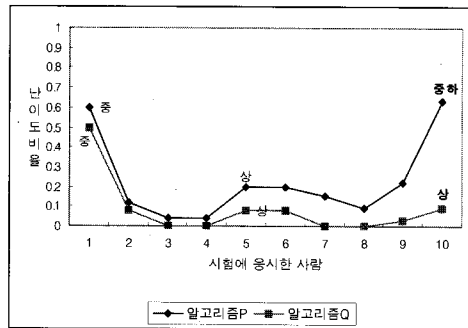


그림 2. 개인평가에 의한 난이도 변화 그래프

V. 결론

이러닝 문제는행기반의 출제시스템에서 보다 객관적이고 효율적인 문제의 난이도 관리를 위해, 시험 응시자수 대비 정답자수 뿐만 아니라 학습자의 학습 능력을 고려하는 보다 향상된 동적 난이도 관리 정책을 제시하였다. 또한 이전 학습자들의 평가 결과를 관리하여 현재 평가 결과에 적용함으로써, 실수에 의한 큰 폭의 난이도 변화에서 오는 문제점을 해결하였다. 이는 기존 알고리즘에 비해 보다 효율적인 난이도 재조정이 이루어짐을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 김경아, 최은만, "웹기반 교육에서의 자동 문제출제 시스템", 한국정보처리학회 논문지, pp.301-310, 2002년.
- [2] 김은정, 류희열, "기사 시험을 위한 웹기반 학습 시스템의 설계", 한국정보과학회 봄학술 발표 논문집, 2004년.
- [3] 김은정, "웹기반 학습시스템의 평가 문제에 대한 출제 방법 및 난이도 재조정에 대한 연구", 한국정보처리학회 논문지, pp.471-480, 2005년.