

## 피드백을 제공하는 CAT 기반 학습시스템

조여원<sup>o</sup> 최용석

한양대학교 교육대학원 컴퓨터교육전공  
wonnycho@hanmail.net<sup>o</sup>, cys@hanyang.ac.kr

### A Learning System based on CAT with Feedback

Yeo Won Cho<sup>o</sup> Yong Seok Choi

Major in Computer Science Education, The Graduate School of Education, Hanyang University

#### 요 약

컴퓨터 개별적용 검사(CAT: Computerized Adaptive Testing)란 각 학습자 수준에 적절한 형태의 검사를 개별적으로 실시함으로써 짧은 시간 안에 적은 수의 문항으로도 측정하고자 하는 제 특성을 보다 정확하고 효율적으로 측정할 수 있게 하는 기법이다. 이는 학습자 중심의 수준별 교육을 위한 학습 도구로서 이용될 수 있다. 본 연구에서는 문항반응이론 기반의 CAT를 학습에 적용시킴으로써 학습자의 평가결과에 따라 즉각적인 피드백을 통한 개별학습을 할 수 있고 일정수준의 성취단계에 이를 때까지 스스로 부족한 부분에 대한 평가를 계속 실시하여 완전학습에 도달할 수 있는 새로운 형태의 CAT 기반 학습시스템을 제시한다.

#### 1. 서 론

교육 평가는 교수 및 학습을 개선하고 학생의 학습에 도움을 주는 것이다. 교육평가의 기능은 교수과정과 학습과정에 최대한으로 도움을 주고, 그렇게 함으로써 학생의 학교학습을 극대화시키는 역할을 갖도록 하려는 것이 교육평가가 지향하는 새로운 방향이다[1].

CT(Computerized Testing)는 기존의 지필 검사를 그대로 컴퓨터를 통해 제공하는 것으로, 가장 초보적인 수준의 컴퓨터 이용 평가 단계이다. 한편, CAT(Computerized Adaptive Testing)는 컴퓨터공학의 발달과 고전 검사이론의 하나인 문항반응이론의 접목으로 실현이 가능해진 개별적용검사이다. CAT는 CT가 지닌 장점을 모두 지니는 동시에 측정의 정확도 제고, 검사의 개별화·다양화 실현, 검사의 교육적 효과의 극대화라는 장점을 지닌다[2].

본 연구는 학습자 중심의 교육을 위한 학습 도구로서의 문제은행 시스템을 개발함에 있어 학습자의 능력에 따른 개별적인 상호작용으로 피드백이 제공되는, 평가와 학습을 위한 시스템의 새로운 형태를 제시하고 그 효율성을 알아보기 위한 연구이다. 학생들은 CAT 기반 학습시스템을 이용하여 원하는 때에 수시로 교사의 도움없이 자기평가를 함으로써 보다 즉각적인 피드백을 통한 개별학습을 할 수 있으며, 일정수준의 성취단계에 이를 때까지 스스로 부족한 부분에 대한 평가를 계속 실시하여 완전학습에 도달할 수 있다.

#### 2. 이론적 배경

##### 2.1 피드백

피드백이란 학습자의 학습활동에 대하여 양적이거나 질적인 정보를 학습자에게 제공해주는 활동이라고 할 수 있다.

컴퓨터에 의한 피드백은 컴퓨터와 학습자간의 상호작용의 용이함으로 인하여 교육적 성과를 극대화하고자 하는 것이며 이는 동기적 측면과 인지적 측면에서 그 효과가 매우 크기 때문에 학습과 지식 획득을 위한 중요한 원리로 간주되고 있다[3].

본 연구시스템에서는 학습자의 응답에 대한 즉각적 판정이 가능하므로 적절히 필요한 시기에 정답과 오답반응을 보인 학습자 각각에게 차별적인 피드백을 제공해줄 수 있다.

##### 2.2 컴퓨터 개별적용 검사(CAT:computerized adaptive testing)

컴퓨터 개별적용 검사(CAT)란 컴퓨터 공학과 검사이론이 서로 긴밀하게 연결되면서 발전된 하나의 검사방법으로서, 각 학습자 수준에 적절한 형태의 검사를 개별적으로 실시함으로써 짧은 시간 안에 적은 수의 문항으로도 측정하고자 하는 제 특성을 보다 정확하고 효율적으로 측정할 수 있게 하는 기법이다. 이 기법은 학습자의 수준에 적합한 문항들을 문제은행으로부터 선별하여 개별적으로 적용된 형태의 검사를 시행함으로써 각 학습자가 자신의 수준에 부적절한 문항에 응답할 기회나 시간을 줄일 수 있고, 검사를 시행하는 사람의 필요에 따라 측정오차의 크기나 최대 문항수 제한 등을 이용하여 검사의 길이를 학습자의 수준에 따라 개별적으로 조정할 수 있다[4].

CAT는 2단계식 CAT나 피라미드식 CAT등을 거쳐 문항반응식 CAT로 발전되어 왔다. 문항반응식 CAT에서는 피험자가 문항 하나 하나에 응답할 때마다 문항반응 이론에 입각하여 피험자의 특성 수준을 측정하고, 그 추정된 피험자의 수준을 기준으로 문항정보가 가장 많은 문항을 문제은행에서 선택하여 피험자에게 제시하는 과정을 반복한다. 이 과정은 피험자 특성 추정의 표준오차가 사전에 의도한 범위 내에 들어오면 끝나게 된다[4].

##### 2.3 문항 반응 이론

2.3.1 문항반응모형 : 1-모수 로지스틱모형(Rasch모형)

문항반응모형을 유도하기 위해 문항난이도(문항난이도, 문항변별도, 문항추측도)를 고려한 세 가지 형태의 문항반응모형과 함수를 이용한 두 가지 수리적 문항반응모형(정규오자이브모형, 로지스틱모형)이 있다[5]. 본 연구에서는 문항특성곡선을 추정하는 보다 쉬운 방법으로 계산이 용이하며 문항반응이론의 전개에 보편화되고 있는 1-모수 로지스틱모형(Rasch모형이라고도 함)을 이용하도록 한다.

$$P(\theta) = \frac{1}{1 + e^{-(\theta-b)}} \quad (\text{식 1})$$

P(θ) : 문항을 맞출 확률  
 θ : 피험자의 능력  
 b : 문항 난이도

2.3.2 문항정보함수

학습자의 특성이나 능력을 측정함에 있어 문항의 난이도 수준이 학습자의 수준과 비슷할 때 그 학습자에 대한 문항정보는 가장 커지게 되고, 반대로 피험자 수준보다 문항이 지나치게 어렵거나 혹은 쉬우면 그 피험자에 대한 문항정보는 적어지게 된다. 이런 이유로 최대 문항 정보를 가지고 있는 문제가 학습자 수준에 가장 적당한 문제가 된다[4].

각 학습자 수준에 따른 각 문제의 문항정보는 달라지기 때문에 각 문항은 학습자 수준(학습자 능력모수치)을 변수로 하는 함수 형태를 띠게 되고 이를 문항 정보 함수라 한다.

$$I_i = P_i(\theta)\{1 - P_i(\theta)\} \quad (\text{식 2})$$

P<sub>i</sub>(θ) : 1-모수 모형에 의한 학습자의 정답 확률  
 θ : 관심의 대상이 되는 능력수준

2.3.3 능력 모수치 추정

결합최대우도추정법이라고 일컬어지는 이 방법은 모수치를 반복해서 추정해 들어가다 보면 일점값에 수렴하게 되고 그 값이 검사를 통해 추정된 학습자 모수치로서 다음 학습단계로 들어갈 때 이 수치를 참고하여 최대 정보 문항을 선정하게 된다.

$$\theta_{s+1} = \theta_s + \frac{\sum_{i=1}^N [U_i - P_i(\theta_s)]}{\sum_{i=1}^N [P_i(\theta_s) \times (1 - P_i(\theta_s))]} \quad (\text{식 3})$$

θ<sub>s</sub> : S번째 반복교정을 통해 얻은 능력추정치  
 U<sub>i</sub> : 피험자의 문항 i에 대한 응답  
 P<sub>i</sub>(θ<sub>s</sub>) : θ<sub>s</sub>의 능력을 갖는 피험자가 문항 i를 맞출 확률

3. CAT 기반 학습시스템 설계 및 구현

3.1 순서도

CAT 기반 학습시스템의 핵심이론은 앞서 살펴본 문항반응이론식 개별 적용 검사이다. 이는 수준별 개별학습이라는 목적에 부합하는 유형이기 때문이다.

이론의 공식에서 추정된 학습자의 능력에 맞는 문항을 선택하여 제시하고, 오답일 경우 그에 대한 관련학습을 즉각적인 피드백으로 제시함으로써 학습효과를 높일 수 있다.

그림 1에서는 본 시스템의 전반적인 흐름을 순서도로 정리하였다.

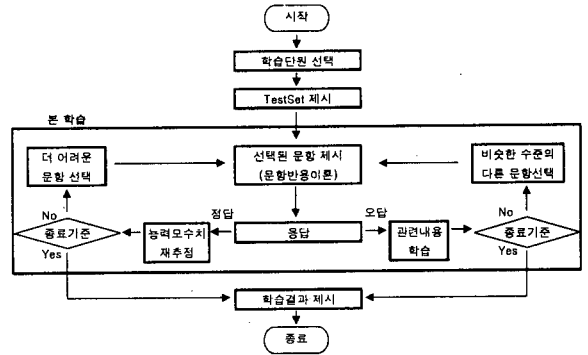


그림 1. CAT 기반 학습시스템 순서도

3.2 CAT 기반 학습시스템 설계

본 연구시스템 설계의 주요 알고리즘은 다음과 같다.

```

θ0=0; sum1,sum2=0;
//θ0는 문제은행 난이도의 평균값인 0으로 초기화
S=[TestSet내의 모든 문항들의 집합];
For each i∈S do
    //TestSet 제시
    { 문항 i를 제시;
      Pi(θ0)=1/(1+e-(θ0-bi))
      //피험자가 문항 i에 답을 맞힐 확률 (식1)
      If get_answer(i) is correct then
          //get_answer(i)는 문항i에
          //대한 학습자의 응답결과
          Ui=1 //Ui는 문항i의 응답반응벡터
          else Ui=0
          sum1=sum1+[Ui-Pi(θ0)]
          sum2=sum2+[Pi(θ0)*(1-Pi(θ0))]
      }
    Δθ=sum1/sum2
    θ0=θ0+Δθ //피험자 능력추정의 교정값 (식3)

//본 학습 시작//
n=0;
sum1,sum2=0; R=0;
S=[단원내의 모든 문항들의 집합];
문항선택: For each i∈S do
    { Pi(θn)=1/(1+e-(θn-bi))
      Ii=Pi(θn)*(1-Pi(θn))
      //문항 i의 문항정보함수 (식2)
      j=argmax(Ii); 문항 j를 제시;
      S=S-[문항j] //j는 선택된 문항
      n=n+1 //n은 제시된 문항개수
      Pj(θn-1)=1/(1+e-(θn-1-bj))
      If get_answer(j) is correct then
          { Uj=1; R=R+1; //R은 정답문항 개수
            sum1=sum1+[Uj-Pj(θn-1)]
            sum2=sum2+[Pj(θn-1)*(1-Pj(θn-1))]
            Δθ=sum1/sum2
            θn=θn-1+Δθ } //능력모수치 재추정 (식3)
          else { Uj=0;
                관련학습내용 제시; }
      If θ<3.0 or n<30 then //종료기준
          Goto 문항선택;
      else print n, R, θn; //학습결과 제시
      End.
    
```

그림 2. CAT 기반 학습시스템 알고리즘

3.2.1 TestSet 제시

TestSet은 임의의 난이도(상,중,하)를 갖는 3개의 문항으로 구성된다. 본 학습에 들어가기 전, 보다 정확한 초기 능력모수치를 구하기 위하여 TestSet내의 문항을 차례대로 제시하고, (식 3)을 이용하여 학습자가 응답한 결과로  $\theta_0$ 값을 교정한다.

3.2.2 문항선택

선택한 단원내에는 단원학습의 지식을 포괄할 수 있는 기본적인 문항수인 30문항으로 구성되어 있다. 각 문제의 문항정보함수값을 구하여 최대의 문항정보를 갖는 문제를 선택, 제시한다.

문항정보이론에 의하면, 학습자의 응답결과가 오답일 경우에는 다음문항에서 그만큼 더 쉬운 문항이 선택된다. 그러나 본 시스템에서는 응답결과가 오답일 경우, 능력모수치가 재추정되지 않으며 제공된 피드백을 받아 관련학습을 마친 후에 다음 문항이 제시되므로 관련학습효과를 높이기 위하여 이전 제시된 오답문항의 난이도와 가장 비슷한 문항, 즉 재추정되지 않은 이전의 능력값에 따른 문항을 선택하여 제시한다.

이 과정은 문항정보가 각 문항의 현재 학습자 능력모수치를 변수로 하는 함수값을 가짐으로써 가능하다.

3.2.3 능력모수치의 재추정 및 관련내용 학습

학습자의 실제 응답한 결과가 정답일 경우에만 결합최대우도 추정법의 공식(식 3)으로 학습자의 능력 모수치를 재추정한다.

문항에 응답한 결과가 오답이라면, 제시되었던 문항과 관련된 내용의 학습화면으로 이동한다.

3.2.4 종료기준

검사를 위한 CAT에서의 종료기준은 학습자의 능력모수치에 대한 표준오차가 일정기준수치 이하로 수렴하는 경우가 일반적이다. 그러나 본 시스템의 특성은 학습자 응답이 오답일 경우, 관련학습이 제공되어 완전학습을 목적으로 하며 정답일 경우에만 능력값이 교정되고 있으므로 재추정된 능력값은 이론상 계속 증가하게 된다. 결국 평가학습을 계속 진행하여  $\theta$ 값이 충분히 큰 시점에 다다르거나 단원내의 30문항이 모두 제시되었으면 학습이 종료될 수 있다. 피험자의 능력은 이론적으로  $-\infty$ 에서  $+\infty$ 사이 존재하나 실제로 거의 대부분의 피험자의 능력은  $-3$ 에서  $+3$ 에 놓이게 된다[5]고 하였으므로  $\theta$ 값의 상한값을  $+3$ 으로 한다.

종료기준에 들어오면 학습의 결과로써 학습한 문항수와 정답 문항 개수, 그리고 학습자의 최종 능력값을 출력하여 제시하고, 종료기준이 아니라면 문항을 선택하는 단계로 가서 반복수행한다.

3.3 CAT 기반 학습시스템 구현

본 연구에서는 워드프로세서 자격증 필기시험문제로 문제를 행을 구축하였으며, 문항제작이나 문항모수치(난이도) 산정은 연구범위 제외이고, 난이도(상,중,하)가 정해진 기 개발된 문제은행의 문항을 사용하여 각 문항별로  $-2$ 이상  $+2$ 이내 범위에서 임의의 난이도를 주었다.

본 시스템은 PC기반의 윈도우즈 환경에서 동작하며 윈도우즈 프로그래밍에 적합한 마이크로 소프트사의 비주얼 C++ 6.0으로 작성되었다.

그림 3은 CAT기반 학습에서 진행되는 문제화면과 오답에 반응하여 관련된 내용의 학습으로 이동된 실제화면이다.

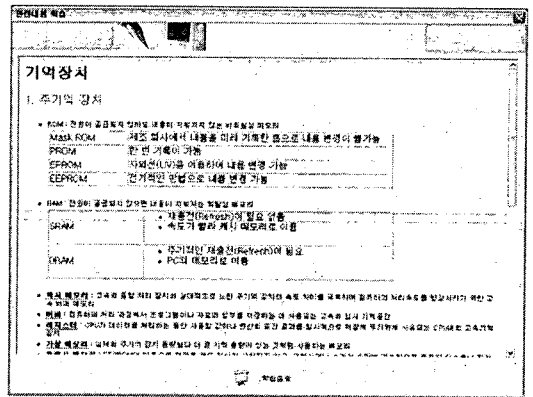
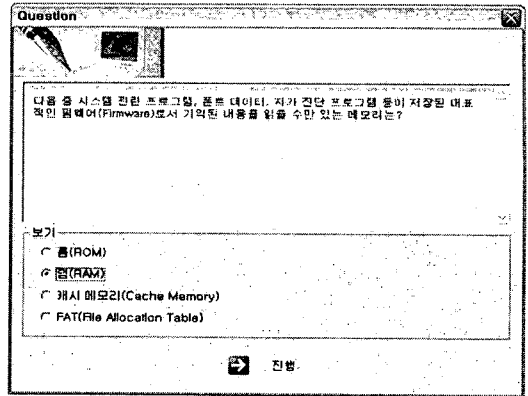


그림 3. CAT 기반 학습시스템의 실제화면

4. 결론 및 향후연구

원래 CAT의 기본목적은 검사의 정확성이나 효율을 높이는 데에 있으며, 기존의 선행연구 시스템 대부분이 지필검사 결과와 CAT 결과치를 비교·분석하여 유의미한 차이가 없음을 보이고 있다. 하지만 본 연구에서의 CAT 기반 학습시스템은 학습자의 수준 측정을 위한 평가를 도구로 삼아 측정된 학습자의 능력에 맞는 문항과 관련학습을 피드백으로 제시함으로써 완전 학습을 이루는 데에 보다 더 높은 학습효과를 기대할 수 있다.

향후 연구과제로는 사전에 검사분석 되어진 보다 정확한 문항모수치를 갖는 다수의 문항제작이 선행되어야 한다는 점과 텍스트뿐만 아니라 사운드, 그래픽 등의 멀티미디어 기능을 이용하여 다양한 효과의 피드백을 제공해줄 수 있는 시스템 설계가 남아있다.

참고문헌

[1] 조강은, 문항반응이론을 적용한 컴퓨터 개별적용검사 시스템, 한양대학교 교육대학원 석사학위논문, 2002.  
 [2] 채선희, 컴퓨터를 이용한 중학교 학력검사 개발 연구, 한국교육과정평가원, 2000.  
 [3] 이재경, 지식의 유형과 CAI 피이드백방식의 조합이 개념획득에 미치는 효과, 서울대학교 대학원 석사학위논문, 1991.  
 [4] 백순근, 채선희, 컴퓨터를 이용한 개별적용검사, 원미사, 1998.  
 [5] 성태제, 문항반응이론의 이해와 적용, 교육과학사, 2001.