

推薦論文

学生の理解度と問題の難易度を動的に評価する 練習問題自動生成システム

菅 沼 明[†] 峯 恒 憲[†] 正 代 隆 義[†]

教育機関へのコンピュータや LAN の導入により、Web のデータを教材として使用する講義も行われている。しかし、教材を電子化するだけでなく、コンピュータ世界の変化に対応した教育方法、教育支援方法が必要とされている。教材に沿った練習問題があり、ブラウザ上で解答できる環境が整っていれば、学生は容易に練習問題にチャレンジすることができる。これにより、学生の理解を深めることが可能になる。本論文では、XML 文書から練習問題を生成するシステム AEGIS (Automatic Exercise Generator based on the Intelligence of Student) について述べる。まず、学生の理解力に応じた練習問題を自動生成するための XML タグの設計を行い、このタグを埋め込んだ XML 文書から選択形式、穴埋め形式、誤り訂正形式の出題を可能とした。学生の理解度と問題の難易度を推定し、適切な出題を行うことは電子教材にとって非常に重要である。AEGIS はこれらを動的に評価し、学生の理解度に応じた練習問題の自動生成を行う。本論文では、AEGIS で使用しているタグ、学生の理解度と問題の難易度の動的な評価法、およびシミュレータを用いて評価法を評価した結果について述べている。

Automatic Exercise Generating System That Dynamically Evaluates both Students' and Questions' Levels

AKIRA SUGANUMA,[†] TSUNENORI MINE[†] and TAKAYOSHI SHOUDAI[†]

Popularization of computers and the Internet enable us to hold lectures using Web contents as a teaching material and even develop new lecture methods using the technologies. Although teachers have prepared a lot of Web contents, most of them are utilized so as only to be browsed by students. If we arrange some exercises according to lecture notes and prepare an answering mechanism for the exercises via the Internet, every student can attempt the exercises any time. This paper proposes a Web-based self teaching system: AEGIS (Automatic Exercise Generator based on the Intelligence of Student) that generates exercises of various difficulty levels according to each student's achievement level, marks his/her answers and returns them to him/her. Once the documents are marked up with tags by teachers to specify the positions of questions, AEGIS can generate three question types: multiple-choice question, fill-the-gap question, and error-correcting question from the same tagged document. It is very important for AEGIS to estimate both an achievement level of each student and a difficulty level of each question. AEGIS dynamically evaluates these levels. In this paper, we discuss the design of the tags for AEGIS, the re-estimation of the levels and generating method of AEGIS.

1. はじめに

教育を取り巻く計算機環境・LAN 環境の変化に対応した教育方法の 1 つとして、教材を Web のデータとして用意する方法が多用されている。用意した教材を教師のブラウザで表示し、教師のディスプレイをスクリーンに投影して講義を行う。または、教師が参照

している Web ページを学生のディスプレイ上のブラウザに同期表示するようなツールを使用して講義を行う。さらに講義以外の時間に、学生が予習・復習のために Web 教材を参照する。このような形で講義を進めることが普通に可能になっている。また、平成 13 年 3 月の文部科学省告示 51 号により、オンライン授業での単位が認められ、多様なメディアを使った講義

[†] 九州大学
Kyushu University

本論文の内容は平成 15 年 1 月のデジタル・ドキュメント研究会において報告され、デジタル・ドキュメント研究会主査により情報処理学会論文誌への掲載が推薦された論文である。

が増えてきている。そのため、Web のデータとして用意された教材も増えている。

これらの教材に沿った練習問題があり、それを Web ブラウザ上に表示し、解答できる環境が整っていれば、学生は容易に練習問題にチャレンジすることができ、講義内容についての理解を深めることが可能になる。練習問題を作成するときに、解答する学生の理解度によって問題の難易度を変えられると、学習効果はさらに高まる。しかし、難易度ごとに個別に練習問題を作成するのは教師に対する負荷が大きくなる。そのため、教材として用意している HTML データを利用して、学生の理解度に合わせた難易度の練習問題を生成できるシステムが望まれる。我々は、出題用のタグを付加した 1 つの教材ドキュメントから難易度の異なる複数の練習問題を自動的に生成するシステムとして AEGIS (Automatic Exercise Generator based on the Intelligence of Student) を構築している¹⁾。このシステムは、過去に学生が答えた履歴から学生の理解度を推定し、それに合わせた練習問題を出題するものである²⁾。

練習問題の自動生成に関する研究はいろいろ行われている^{3)~5)}。これらのシステムは、基本的に選択問題のみを出題し、1 つの出題箇所に対して出題形式を変更することで難易度を変更することは行わない。そのため、難易度を変えて出題したい場合は、個別に練習問題を作成する必要がある。また、問題もランダムに選ばれて出題される。このため、問題のレベルを一定水準に合わせておいて、学生がある一定のレベルに達しているかを確認するために使用することを想定している。一方、AEGIS は、1 つのドキュメントから出題形式を変えることで難易度を変更できる仕組みを持っている。そのため、ドキュメントの再利用性にたけている。また、学生の理解度に応じた出題を行うため、練習を繰り返しながら学習を進めるような使用を想定している。

情報通信技術を教育に応用するものとして WBT (Web Based Training) が注目されている。その中でも WebCT^{6),7)} は多くの教育機関で利用されている。WebCT は、教材の作成、教材の提示、学生の管理、コミュニケーション支援、フィードバック、課題レポートの出題・回収、コースカレンダー提示機能などを提供する⁸⁾。練習問題に関する WebCT の機能としては、オンラインテストを作成し WebCT 上に出題し自動的に採点させることや、コース内容に関する選択式あるいは記述式のテストを WebCT に実施させることが可能である。しかし、テスト問題は独自に作成しなければ

ならず、AEGIS のように教材の中に埋め込んだタグを利用して問題を自動生成する機能はない。

本論文では、まず、2 章で、AEGIS が行う問題の自動生成について、採用した出題形式と自動生成を可能にするために教材に埋め込むタグに関して述べる。次に 3 章で、AEGIS で行っている学生の理解度と問題の難易度の動的な評価手法について紹介する。さらに、この評価手法をシミュレーションを用いて評価する。4 章で、AEGIS の構成について述べる。

2. 問題の自動生成

2.1 練習問題の出題形式

練習問題の出題形式には、論述式の問題からマークシート方式の問題まで様々なものがある。しかし、コンピュータによる自動採点を可能にしようとするとき、出題形式は限られてくる。たとえば、論述式の問題であれば、学生が書いた文章を読んで内容を理解しなければ採点できない。文章の内容理解に関しては、自然言語処理の研究でも正確に行えていない分野である。そのため、このような問題を出題形式に選ぶのは妥当ではない。そのため、本研究では、選択問題、穴埋め問題、誤り訂正問題の 3 つの出題形式を対象として問題の自動作成を行う。

- **選択問題**：文章中に空白が挿入されていて、その部分に最もあてはまるものを選択肢から選ぶ問題。
- **穴埋め問題**：文章中に空白が挿入されていて、その部分に最もあてはまるものを記述する問題。
- **誤り訂正問題**：文章中のどこかが誤った表現に置換されていて、誤りを探し出すとともに正しく修正する問題。

これら 3 種類の出題形式の問題は、正解の文章の一部を空白に置き換える、もしくは誤った表現に置き換えることによって作成できる。説明の都合上、以下では、空白に置き換える箇所もしくは誤った表現に置き換える箇所のことを『出題箇所』と呼ぶことにする。

問題文中の出題箇所を同じにしても上に示した 3 種類の出題形式で難易度が変化する。これは、問題用紙に載っている情報を考えることではっきりする。選択問題は、選択肢に必ず正解が含まれている。そのため、比較的容易な問題となる。次に、穴埋め問題は、空白に挿入すべき正解を学生自身が考え出して埋めなければならない。これは、正解の情報が問題用紙上にないことを意味する。この点で、穴埋め問題は選択問題より難易度の高い問題と判断できる。誤り訂正問題は、問題文中にある誤りの箇所を探さなければならない。さらに、誤りと判断した箇所に対して正解の記述を学

生が考えて訂正を行う。つまり、正解の情報がまったくないばかりか、出題箇所自体も隠されている。そのため、誤り訂正問題が最も難易度が高いといえる。このことから、出題箇所を同じにした問題でも出題形式が異なれば、問題を解く学生にとって難易度が異なる問題となる。

2.2 問題自動生成のためのタグ

練習問題を自動的に作成する場合、出題箇所、出題文の範囲、選択肢を教材に埋め込む必要がある。AEGISではタグを定義し、それを用いて教材から練習問題を自動生成する。これらのタグはXMLの枠内で設計した。

- (1) **出題文を示すタグ**：教材のどの部分を出題文とするかを示すために、QUESTIONタグを使用する。このタグで囲まれた内容が練習問題の出題文になる。出題文には最低1つの出題箇所が含まれるので、このタグで囲まれた領域には、下に示す「出題箇所を示すタグ」が少なくとも1つは含まれる。
- (2) **出題箇所を示すタグ**：出題箇所を指定するために、DELタグを使用する。このタグで教材中の出題箇所を囲むことで、囲まれたテキストが出題箇所となる。囲まれた部分を空白に置き換えれば、穴埋め問題は容易に作成できる。
- (3) **選択肢を示す属性**：選択問題を作成する場合には、選択肢を用意しなければならない。選択肢は出題箇所依存するので、出題箇所を示すタグの属性として記述できるようにするのが自然である。AEGISでは、DELタグに属性CANDを用意してそれに対処した。出題者が正解でない表現を属性CANDの値として記述する。

ここまでで定義した2つのタグを使用したタグ付きドキュメントの例を図1に示す。DELタグの内容「in」を空白に置き換えると、空白問題になり、DELタグのCAND属性の値を使って選択肢を作れば選択問題になる。CAND属性の値の1つをDELタグの内容と置き換えると、誤り訂正問題になる。このようにタグを埋め込むことで、1つのドキュメントから難易度の異なる練習問題を生成することが可能となる。

2.3 理解力に応じた生成のためのタグ

問題を出題するだけであれば、上記の2つのタグと1つの属性で自動生成可能である。しかし、学生の理解度に応じた練習問題を出題するには、問題の難易度に関する情報が必要となる。AEGISのタグでは、DELタグの属性としてLEVEL、GROUP、REFの3つを用意して、出題箇所の難易度を表すようにした。また、出

```

<QUESTION SUBJECT="idioms">
Data structures need to be studied
<DEL CAND="an,on,at,by" LEVEL="2 5"> in
</DEL>
order to understand the algorithms.
</QUESTION>

```

図1 タグ付きドキュメントの例

Fig. 1 The tagged data to generate three types of question.

題箇所と関係する表現に印を付けるためのタグ LABELを追加した。さらに、出題する練習問題を分野で分類できるように、CONCEPTタグを追加した。本研究で定義した4つのタグの定義を図2と図3に示す。

LEVEL属性には出題箇所自体の難易度を指定する。この属性は、1~10の数値の対になっており、出題箇所の難易度の上限と下限を表す。

GROUP属性には出題箇所間の関連を指定する。出題箇所には、他の出題箇所が空白になることによって正解に到達しにくくなるものがある。これを出題箇所の依存関係と考える。複数の出題箇所に同じGROUP名を付けることで、依存関係があるとことを明示する。難易度を高くする場合には、同じGROUP名が付いている出題箇所をすべて出題する。また、難易度を低くする場合には、一部だけを出題し、出題しなかった箇所を一種のヒントとして示すこともできる。

REF属性には出題箇所以外の表現との関係を指定する。GROUP属性は出題箇所どうしの依存関係を明示するために導入したが、出題箇所によっては、出題箇所以外の表現に依存するものもあるであろう。この属性は、次に述べるLABELタグと対をなして、教材中のどの部分と依存関係があるかを明示するために使用する。

ある記述がある出題箇所の正解を得るためのヒントとなる場合もある。そのような箇所をタグで示しておくと、誤った解答をした場合にヒントとして学生に示すことも可能である。このような処理をするために、AEGISではLABELタグを用意している。LABELタグにはNAME属性があり、どの出題箇所と関係があるのかを指定する。

3. 理解度と難易度の動的評価

3.1 学生の理解度の評価

AEGISでは、学生の理解度に応じて難易度の異なる問題を出題する。そのため、学生の理解度をどのように見積もるかが重要である。学生の理解度は問題を

<code><QUESTION SUBJECT="W_S"></code> <i>question region</i> <code></QUESTION></code>	
<code>W_S</code>	::= word or symbol, where a backslash (\) must be added just before the symbol if it is a comma(,), double quotes("), or a backslash(\).
<code><DEL CAND="CANDIDATE" LEVEL="PAIR" GROUP="ID" REF="ID"></code> <i>hidden region</i> <code></code>	
<code>CANDIDATE</code>	::= <code>W_S W_S ', ' CANDIDATE</code>
<code>W_S</code>	::= word or symbol, where a backslash (\) must be added just before the symbol if it is a comma(,), double quotes("), or a backslash(\).
<code>PAIR</code>	::= <code>LOW ' ' HIGH</code>
<code>LOW</code>	::= an integer between 1 and 10
<code>HIGH</code>	::= an integer between 1 and 10
<code>ID</code>	::= keyword
<code><LABEL NAME="ID"></code> <i>sentences</i> <code></LABEL></code>	
<code>ID</code>	::= keyword
<code><CONCEPT></code> <i>keyword</i> <code></CONCEPT></code>	

図 2 練習問題作成のためのタグの定義

Fig. 2 Definition of tags for exercise generation.

```

<!DOCTYPE EXERCISE [
<!ELEMENT QUESTION (#PCDATA | DEL | LABEL | CONCEPT)*>
<!ELEMENT DEL (#PCDATA)>
<!ELEMENT LABEL (#PCDATA)>
<!ELEMENT CONCEPT (#PCDATA)>
<!ATTLIST QUESTION SUBJECT CDATA #IMPLIED>
<!ATTLIST DEL CAND CDATA #IMPLIED
LEVEL NMTOKENS #REQUIRED
GROUP NMTOKEN #IMPLIED
REF IDREF #IMPLIED>
<!ATTLIST LABEL NAME ID #IMPLIED>
] )

```

図 3 AEGIS で用いるタグの DTD

Fig. 3 DTD of the tags defined for AEGIS.

解くたびに变化するであろう。そのため、AEGIS では、学生が解答するたびに学生の理解度を評価する。時刻 t における学生 i の理解度を下に示した式で計算する。

$$s_{i,t} = \begin{cases} s_{i,t-1} + \frac{\sum_{j \in Q} (q_{j,t} - s_{i,t-1}) \delta_{i,j}}{\sum_{j \in Q} \delta_{i,j}} & \left[\text{if } \sum_{j \in Q} \delta_{i,j} \neq 0 \right] \\ s_{i,t-1} & \left[\text{otherwise} \right] \end{cases}$$

ここで、 Q は学生が解答した問題の集合（最近の 30 回の解答）を表し、 $q_{j,t}$ は、時刻 t における問題 j の難易度を表す。また、 $\delta_{i,j}$ は、学生 i が自分の理解度 $s_{i,t-1}$ よりも高い難易度の問題に正解した場合と、学生 i が自分の理解度 $s_{i,t-1}$ よりも低い難易度の問題を間違えた場合に値 1 となり、それ以外は 0 となる

定数である。学生の理解度は、問題に解答するたびに以前の理解度を基に再計算される。学生が初めて練習問題に解答するときには、学生の理解度は 1 で初期化される。

ある学生が自分の理解度よりも低い難易度の問題を正解することはきわめて自然である。また逆に、自分の理解度よりも高い難易度の問題を間違えることも自然である。そのため、AEGIS では、学生の理解度の再評価において、そのような試行のデータを使用しない。上の式において定数 $\delta_{i,j}$ が 0 となり、再評価に影響を与えない。自分の理解度よりも低い難易度の問題を学生が不正解した場合、AEGIS は学生の理解度が過大評価されていると判断し、理解度を下げようとする。この場合、上の式の $(q_{j,t} - s_{i,t-1})$ が負の値となり、 $s_{i,t}$ を小さくする。反対に、自分の理解度よりも高い難易度の問題を学生が正解した場合、AEGIS は学生の理解度が過小評価されていると判断し、理解度を上げようとする。この場合、上の式の $(q_{j,t} - s_{i,t-1})$ が正の値となり、 $s_{i,t}$ を大きくする。学生の理解度は、

学生が問題を解いたときのその問題の難易度を用いて計算されるのではなく、理解度を計算する時点での問題の難易度を用いて計算される。次節に示すように、問題の難易度も動的に評価されるので、AEGIS が評価する学生の理解度は、彼が問題を解かなくても他の学生の解答の結果によって上下する。

AEGIS は、評価している学生の理解度を中心に、ある散らばりを持った範囲の難易度の問題を出題する。出題されたほとんどの問題に正解した学生は、計算される理解度が大きくなり、それにともない出題される問題の難易度も高くなる。この難易度の高い問題に正解すれば、さらに理解度は高くなる。逆に不正解が多い学生の場合には、理解度は低い値となる。そのため、比較的易しい問題が多く出題されることになる。この易しい問題に正解していくと、計算される理解度は高くなり、次第に難易度の高い問題に挑戦できることになる。

3.2 問題の難易度の評価

前節のように問題の難易度を基にして学生の理解度を計算しているのだから、問題の難易度は十分注意して与えなければならない。AEGIS では、教師が出題箇所の難易度を DEL タグの LEVEL 属性で上限と下限を与える。しかし、教師が見積もっていた問題の難易度と、学生が実際に解くときの難易度とは差があると思われる。そのため、AEGIS では、LEVEL 属性に指定された値は問題の難易度の初期値として利用する。ある出題箇所を選択問題として出題する場合は、その問題の難易度を下限の値で初期設定し、誤り訂正問題として出題する場合は、難易度を上限の値で初期設定する。穴埋め問題として出題する場合は、その中間値で初期設定する。このように問題の難易度の初期値はおおよそその値を設定するが、その後は下の式に従って問題の難易度を動的に変更する。つまり、学生への出題を繰り返すうちに、その問題の評価値としての難易度に変更される。

$$q_{j,t} = \begin{cases} q_{j,t-1} + \frac{\sum_{i \in S} (s_{i,\tau} - q_{j,t-1}) \xi_{i,j}}{\sum_{i \in S} \xi_{i,j}} \\ \left[\text{if } \sum_{i \in S} \xi_{i,j} \neq 0 \right] \\ q_{j,t-1} \quad \left[\text{otherwise} \right] \end{cases}$$

ここで、 S は時刻 $(t-1)$ から t の間に問題 j を解答した学生の集合を表し、 $s_{i,\tau}$ は時刻 τ ($t-1 \leq \tau \leq t$) における学生の理解度を表す。また、 $\xi_{i,j}$ は、出題時

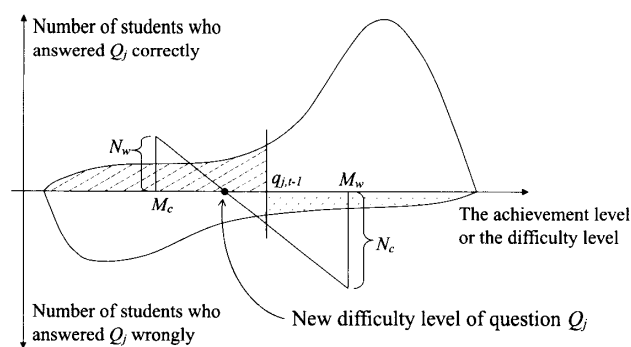
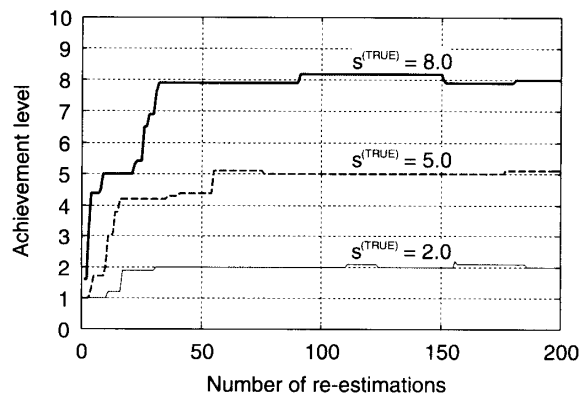


図4 解答した学生の理解度を用いた問題の難易度の再評価
Fig. 4 Renewing the difficulty level of a question based on students' achievement level.

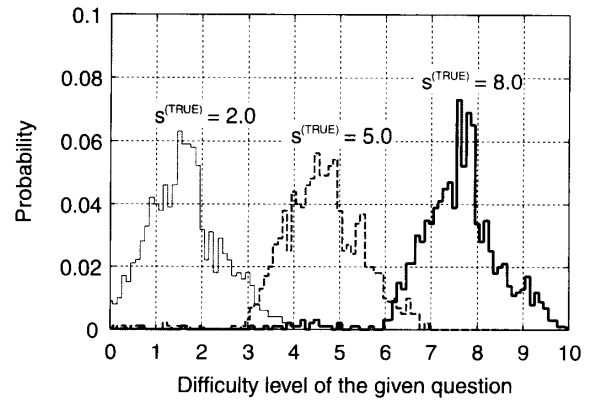
の問題 j の難易度 $q_{j,t-1}$ よりも低い理解度の学生 i がその問題に正解した場合と、問題 j の難易度 $q_{j,t-1}$ よりも高い理解度の学生 i がその問題を間違えた場合に値 1 となり、それ以外は 0 となる定数である。

AEGIS で行っている動的な難易度変更方式の考え方を図 4 に示す。グラフの横軸は学生の理解度を表し、縦軸は学生数を正解した者（上方向）と不正解した者（下方向）とを区別して表す。AEGIS は学生の理解度に近い難易度の問題とその学生に出題するので、ある問題が出題される学生は、その問題の難易度を中心にして上下にある幅を持って分布する。仮にある時間間隔に解答した学生に対して、正解者・不正解者の数がグラフに示した曲線のようにとする。問題の難易度より低い理解度の学生が正解したのは、その問題が過大評価されていたためと仮定し、問題の難易度を下げる方向に動かす要因とする。また、問題の難易度より高い理解度の学生が不正解したのは、その問題が過小評価されていたためと仮定し、問題の難易度を上げる方向に動かす要因とする。

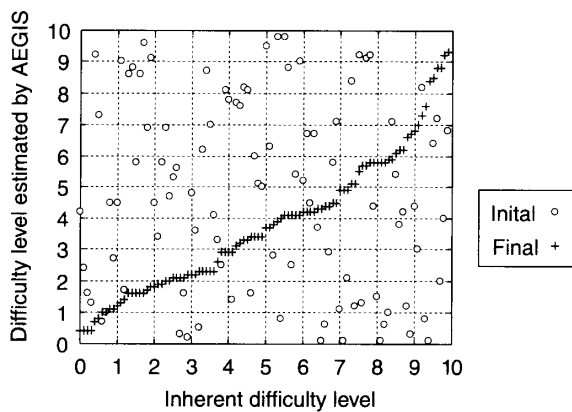
グラフ中の点 $(q_{j,t-1}, 0)$ を通る縦軸に平行な直線を境としグラフを左右に 2 分する。ここで、 $q_{j,t-1}$ は時刻 $(t-1)$ における問題 j の難易度であるので、この直線より左にはこの問題の難易度より低い理解度の学生が分布し、右にはこの問題の難易度より高い理解度の学生が分布する。そのため、新しい難易度に影響を与えるデータは図中の斜線の領域と点付きの領域とに入る。斜線の領域の学生の理解度の平均と学生数を求め、それぞれ M_c 、 N_c とする。同様に点付きの領域でも M_w と N_w を求める。この 4 つの値で決まる 2 つの点 (M_c, N_w) と $(M_w, -N_c)$ とを結ぶ線分が横軸と交わる点の座標を新しい難易度とする。こうして求めた点は、 $(M_c, 0)$ から $(M_w, 0)$ までの線分を N_w 対 N_c に内分する点となる。この方法で、ある時間間隔に解答した学生の理解度を基に、問題の難易度を動的



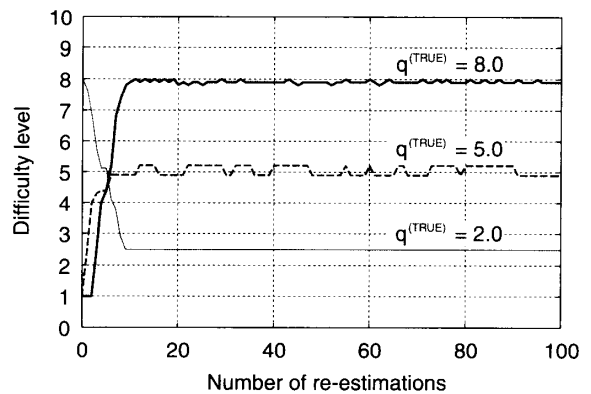
(a) Variance of the achievement level



(b) Distribution of the given questions



(c) Distribution of the difficulty level estimated by AEGIS



(d) Variance of the difficulty level estimated by AEGIS

図 5 AEGIS の評価に関する実験結果

Fig. 5 Results of the evaluation of AEGIS.

に変更する。

3.3 シミュレータを用いた評価実験

AEGIS は学生の理解度と問題の難易度の両方を動的に評価する。前節で提案した手法でうまくそれら を評価できるかを確かめるために、シミュレータを使用してシミュレーション実験を行った。この実験においては、下のような仮定をたててシミュレーションを行った。

問題には、その問題が本来持っている難易度 ($q^{(TRUE)}$) があり、この難易度はシミュレーション中には動かない。学生にも、この学生が本来持っている理解度 ($s^{(TRUE)}$) があり、この理解度はシミュレーション中には動かない。ある学生がある問題に正解するか否かは、 $s^{(TRUE)}$ と $q^{(TRUE)}$ で決まり、 $s^{(TRUE)}$ が $q^{(TRUE)}$ よりかなり大きい場合は正解、かなり小さい場合は不正解とした。 $s^{(TRUE)}$ と $q^{(TRUE)}$ の差がある閾値以内であれば、理解度と難易度が一致しているときを正解率 50% とし、それら 2 つの値の関数として正解率が決まるとした。問題の本来の難易度と学生の本来の理解度は、シミュレータで採点をするときだけに使用し、AEGIS 本体には伝えられない。

AEGIS はシミュレータから送られる採点結果を基にして学生の理解度と問題の難易度を推定する。以下、AEGIS によって推定された理解度と難易度をそれぞれ $s^{(AEGIS)}$ 、 $q^{(AEGIS)}$ と表す。

問題は 100 題用意し、その本来の難易度を 0 から 10 までに 0.1 刻みで分布するものとした。また、ダミーの学生を 100 人用意し、その本来の理解度を 0 から 10 まで均等に分布するものとした。

3.3.1 AEGIS が評価する学生の理解度

100 人の学生から本来の理解度が高い、中くらい、低い 3 人の学生 ($s^{(TRUE)} = 8.0, 5.0, 2.0$) を選んで、AEGIS が評価するその学生の理解度の変化を観測した。図 5 (a) にその結果を示す。各学生の理解度 $s^{(AEGIS)}$ は 1.0 で初期化されるので、図中の 3 つの折れ線はすべて 1.0 からスタートする。それらは、練習問題の解答が進むにつれて離れていき、約 50 回の再評価で各学生の本来の理解度 $s^{(TRUE)}$ の値に近づくことが分かる。

3.3.2 AEGIS が出題する問題の難易度

上の試行において、各学生にどんな難易度の問題が出題されたかを調べた。AEGIS が各学生に 1,000 回の

練習問題を出題する際に出題される問題の難易度の分布を図5(b)に示す。グラフにあるように、理解度が高い学生 ($s^{(TRUE)} = 8.0$) には高い難易度の問題が出題され、理解度が低い学生 ($s^{(TRUE)} = 2.0$) には低い難易度の問題が出題されている。 $s^{(TRUE)} = 2.0$ の学生に出題された問題の難易度は0.1から3.8までに分布し、ほぼ中央にピークを持つ山型となる。この分布の平均と分散を求めると、平均が1.7、分散が0.82であった。他の2人の学生への出題分布も、ほぼその学生の本来の理解度 ($s^{(TRUE)}$) の近くでピークを持つ山型になり、分布の(平均, 分散)は、 $s^{(TRUE)} = 5.0$ の学生では(4.6, 1.02)となり、 $s^{(TRUE)} = 8.0$ の学生では(7.5, 1.19)となった。このことから、AEGISは学生の本来の理解度 $s^{(TRUE)}$ に応じた出題が行えていることが分かる。

3.3.3 AEGIS が評価する問題の難易度

AEGISで採用している問題の難易度の動的な変更がうまく働くかを確かめるために、問題の難易度の初期値としてAEGISにランダムな値を与えてシミュレーションを行った。その結果を図5(c)に示す。グラフにおいて、横軸は問題の本来の難易度 $q^{(TRUE)}$ を表し、縦軸はAEGISが評価する問題の難易度 $q^{(AEGIS)}$ を表している。グラフ中に「○」で示した点はAEGISに与えた初期値を表す。この状態からシミュレーションを始めて、問題の難易度の評価を繰り返すことで、 $q^{(AEGIS)}$ が変化しある値に近付いていく。問題の難易度が収束した後の $q^{(AEGIS)}$ をグラフ中に「+」で示す。グラフから明らかのように、 $q^{(AEGIS)}$ は問題の本来の難易度を反映した値になっている。グラフに「+」印で示した点を結ぶとほぼ単調増加の折れ線となる。このことから、たとえ与えられる問題の難易度が本来の難易度から大きく離れた値であっても、難易度の評価を繰り返すことで、その問題をほぼ正当な難易度で扱えることが確認できた。

すべての問題にランダムな難易度を与えた場合、本来の難易度を反映した値に収束するまでには相当な時間がかかってしまう。しかし実際は、問題の難易度から大きく離れて初期化されることはまれであろうし、大きく離れている問題があっても数が少ないだろう。100題中から3題 ($q^{(TRUE)} = 2.0, 5.0, 8.0$) を選び、それらの問題が大きく離れた値で初期化されたとして、難易度の評価値 $q^{(AEGIS)}$ の変化を観測した。その結果を図5(d)に示す。この実験では、実際のクラスの学生のテストの点を基にして学生の本来の理解度を分布させた。グラフは初期値から出発し、問題の本来の難易度に近付いていく。また、別のクラスの理

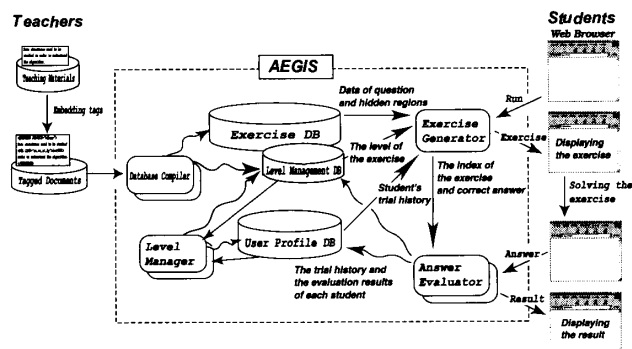


図6 AEGISの構成
Fig. 6 Overview of AEGIS.

解度分布でも、同様のシミュレーション結果を得た。

4. AEGISの概要

AEGISはデータベースコンパイラとレベルマネージャ、問題生成部、採点部とからなっている。AEGISの処理の流れを図6に示す。

既存の教材に問題作成用のタグを埋め込んだXML形式の教材を出題者が用意する。AEGISでは、データベースコンパイラ部がその教材を解析し、難易度データベース(LMDB)と問題データベース(EDB)に登録する。この際に、提供されたXML文書が設計したタグの要求を満たしているかをチェックする。一方、学生がAEGISをひとたび使用すれば、その学生のユーザプロフィール(UPDB)を作成する。これには、出題した出題箇所と出題形式、正解/不正解の情報が記録される。このUPDBに記録された情報を用いて、レベルマネージャが前節で説明した方法で、学生の理解度と問題の難易度を計算する。計算した問題の難易度は難易度データベースに反映される。

問題生成部は、UPDBの情報とLMDBの情報を比較して出題箇所を決定し、EDBから出題文・出題箇所のデータを取り出す。出題箇所は出題形式ごとに難易度が付けられているので、学生の理解度に近い出題形式を選択する確率を高くし、理解度から遠い出題形式を選択する確率を低くする。このようにして、同じ出題箇所でも出題形式を変化させることで、問題の難易度を変化させ、学生の理解度に応じた出題を可能にする。

採点に関しては、DELタグで囲まれた内容がその出題箇所の正解であることを利用して、学生の解答を採点する。選択問題と穴埋め問題では、出題時に出題箇所と出題形式、正解を採点部に伝え、学生が記入した解答と正解をマッチングすることによって採点する。誤り訂正問題では、採点部に伝えられた出題箇所と正解を学生の解答の「誤りの場所」と「訂正内容」と

それぞれ比較し、マッチングした場合を正解とする。採点が終了すると、出題箇所と出題形式、採点結果を UPDB に追記する。

5. おわりに

学生の練習問題挑戦への要求に応え、自動的に出題するシステム AEGIS を提案した。出題用のタグを埋め込んだ XML 文書を教師が作成し、それを使用して AEGIS が練習問題を自動生成する。AEGIS は、システムが評価した学生の理解度に応じて難易度を変化させて練習問題を自動生成することが可能である。

現在、AEGIS 用の XML タグは出題者がテキストエディタで入力している。タグの埋め込み作業は負荷がかかるので、これを支援するツールが必要である。また、DEL タグで囲む出題箇所は、解答として曖昧さがないようにタグ付けされなければならない。現在の AEGIS では、曖昧さが無いことを出題者が保証することを前提にしている。曖昧さがある場合への対応は今後の課題である。AEGIS の出題箇所の選択はランダムに行っている。しかし、学習する際を考えると似た分野の練習問題が出題されることが好ましいこともある。それに対応するために、練習問題をその内容で分類し、分野ごとに自動生成を操作できる仕組みを組み込むためのタグ (CONCEPT) を用意した。このタグを使用して効率的に分類する手法の構築も今後の課題である。

参考文献

- 1) Mine, T., Suganuma, A. and Shoudai, T.: The Design and Implementation of Automatic Exercise Generator with Tagged Documents based on the Intelligence of Students: AEGIS, *Proc. International Conference on Computers in Education*, pp.651-658 (2000).
- 2) Suganuma, A., Mine, T. and Shoudai, T.: Automatic Generating Appropriate Exercises Based on Dynamic Evaluating both Students' and Questions' Levels, *Proc. World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications*, pp.1898-1903 (2002).
- 3) Sheard, J. and Carbone, A.: CADAL Quiz: Providing support for self-managed learning?, *Proc. World Conference on the WWW and Internet*, pp.482-488 (2000).
- 4) Kobayashi, E., Nagashima, S. and Hayase, M.: Programming-free Web-based Automatic Online Drill/Quiz Creator, *Proc. World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*, pp.990-991 (2001).

- 5) Farah, H. and Saddik, A.E.: iQUIZ: A Tool Making Internet Quizzes easy to Develop and Use, *Proc. World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, & Higher Education*, pp.1461-1464 (2002).
- 6) WebCT 社: WebCT: Learning without Limits. <http://www.webct.com/>
- 7) 日本 WebCT ユーザ会: 日本 WebCT ユーザ会のページ. <http://www.webct.jp/>
- 8) 井上 仁, 多川孝央: e ラーニングシステム — WebCT — の紹介, 情報基盤センター広報学内共同利用版, Vol.2, No.2, pp.119-130 (2002).

(平成 17 年 1 月 11 日受付)

(平成 17 年 5 月 9 日採録)

推薦文

新規性があり、かつ実用的にも有効と思われるので、推薦する。

(デジタル・ドキュメント研究会主査 大野邦夫)

菅沼 明 (正会員)



1986 年九州大学工学部情報工学科卒業。1988 年同大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。1991 年同博士後期課程修了。同年九州大学工学部情報工学科助手勤務。1993 年同大学工学部情報工学科講師、1996 年同大学大学院システム情報科学研究科 (現、研究院) 助教授、現在に至る。工学博士。遠隔講義支援、ユーザインタフェース、画像処理、日本語情報処理等に興味を持つ。1994 年本会奨励賞、1998 年本会山下記念研究賞を受賞。電子情報通信学会、言語処理学会、日本ソフトウェア科学会各会員。

峯 恒憲 (正会員)



1987 年九州大学工学部情報工学科卒業。1989 年同大学院総合理工学研究科修士課程修了。1992 年同大学院博士後期課程単位取得退学。同年同大学教養部講師。1994 年同大学理学部講師、1996 年同大学大学院システム情報科学研究科 (現、研究院) 知能システム学専攻 (現、部門) 助教授、現在に至る。博士 (工学)。自然言語処理、情報検索、エージェントシステム等に関する研究に従事。1993 情報処理学会論文賞受賞。電子情報通信学会、人工知能学会、言語処理学会、ACM 各会員。

**正代 隆義 (正会員)**

1986年九州大学理学部数学科卒業。1988年同大学院理学研究科数学専攻修士課程修了。1990年同博士後期課程退学。同年九州工業大学情報工学部助手。1992年山口大学工学部講師。1993年九州大学教養部助教授。1994年同大学理学部助教授。1996年同大学大学院システム情報科学研究科（現，研究院）助教授，現在に至る。博士（理学）。グラフパターンの機械学習，ウェブマイニングシステム，分散型アルゴリズム等に興味を持つ。電子情報通信学会，日本ソフトウェア科学会，ACM各会員。
