

П.І. Федорук, М.С. Дутчак

## Побудова бази знань адаптивних систем дистанційного навчання на основі фреймової та продукційної моделей представлення знань

Предложен новый подход к построению базы знаний адаптивных систем дистанционного обучения, цель которого – упрощение процедуры подготовки учебного материала к импорту в базы знаний, к установлению взаимосвязей между отдельными элементами базы знаний и их дальнейшее использование для построения индивидуальной траектории обучения.

A new approach is suggested to building a knowledge base of the adaptive systems of the distance learning, which aims to simplify the preparation of educational material to the import in data basis, establishing relationships between different elements of the data base and their subsequent use for the construction the individual trajectory of study.

Запропоновано новий підхід до побудови бази знань адаптивних систем дистанційного навчання, метою якого є спрощення процедури підготовки навчального матеріалу до імпорту в бази знань, до встановлення взаємозв'язків між окремими елементами бази знань і їх подальше використання для побудови індивідуальної траєкторії навчання.

**Вступ.** У сучасному суспільстві за умов стрімкого розвитку науки і техніки все більш актуальним стає вдосконалення підготовки кадрів у системі багаторівневої безперервної освіти. Відбувається реформування системи освіти, перехід до багаторівневої структури підготовки бакалавр/магістр на основі компетентного підходу, відповідно до якого оцінка якості освіти ґрунтується не на тривалості або змісті навчання, а на знаннях, уміннях і навичках, отриманих випускниками [1]. Основною метою навчального закладу стає формування ключових компетенцій. Особливістю сучасної системи освіти є можливість навчання за індивідуальною освітньою траєкторією, яку складно організувати завдяки використанню тільки традиційних систем навчання, на допомогу яким приходять системи комп'ютеризованого навчання [2].

Більшість існуючих освітніх середовищ, платформ та порталів за використання новітніх комп'ютерних технологій зазвичай не є адаптивними. Огляд найбільш відомих систем, широко використовуваних у сучасному дистанційному навчанні (ДН), таких, як *ANGEL*, *BlackBoard*, *Desire2Learn*, *ILIAS*, *Lotus LearningSpace*, *Moodle*, *WebCT*, *TopClass*, *Zhang* показав, що, як правило, навчальний курс, представлений в середовищі системи СДН, являє собою набір статичних гіпертекстових документів. Тому з розробкою і

удосконаленням адаптивних технологій дистанційної освіти з'явиться додаткова можливість надати студенту індивідуальний план, який визначає наповнення дисциплін і порядок їх викладу, час навчання. Будь-яка особа, що підвищує свій кваліфікаційний рівень з використанням адаптивних систем дистанційного навчання (АСДН) ідентифікується терміном *студент*.

На даний момент не запропоновано системи, яка б достатньою мірою відповідала сучасним вимогам до АСДН, а саме:

- визначення освітніх потреб і цілей студента;
- визначення наявних у студента знань та навичок, що відповідають цілям навчання;
- визначення індивідуальних психофізичних особливостей студента;
- побудова і адаптивна підтримка релевантного індивідуалізованого навчального процесу на основі відомостей, отриманих в результаті виконання перших трьох вимог.

Основою АСДН є база знань (БЗ), від ефективно розробки і реалізації якої залежить ефективне функціонування всієї системи. БЗ – це база даних, розроблена для управління знаннями (метаданими) – збором, зберіганням, пошуком і видачею знань [3]. При чому пошук і видача знань мають здійснюватися на основі інтелектуального аналізу встановлених зв'язків між елементами БЗ. Виконання цих етапів функці-

онування БЗ є особливо актуальним для АСДН. Більшість БЗ існуючих середовищ комп'ютерного навчання ґрунтується на розміщенні в них електронних варіантів конспектів традиційних занять і статичній видачі навчального матеріалу незалежно від рівня знань і особливостей студента. Хоча можна виділити системи, при формуванні БЗ яких частково враховано принцип адаптивності. Наприклад, БЗ АСДН *EduPro*, розроблена Центром дистанційного навчання та контролю знань Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, містить навчальний матеріал, структурований відповідно до власних стандартів, і має можливість його адаптивної видачі відповідно до прогалів у знаннях студентів. Проте наповнення БЗ даної системи потребує досить значних затрат часу і зусиль викладачів або інженерів зі знань в процесі підготовки навчального матеріалу (НМ) для імпорту в БЗ відповідно до вимог стандарту *EduPro* [4], також в даній системі недостатньо досліджено і використано взаємозв'язок між окремими елементами БЗ.

В даній публікації запропоновано новий підхід до побудови БЗ АСДН, спрямований на виправлення недоліків, відзначених при аналізі БЗ існуючих АСДН і розробку та впровадження додаткових можливостей даних систем.

### Побудова бази знань АСДН

Відповідно до запропонованого підходу, проводиться формування структури БЗ, її наповнення та визначення необхідних параметрів кожного з її елементів, в основу якого закладено фреймову модель подання знань. Далі організовується адаптивне представлення знань студенту з урахуванням параметрів елементів БЗ і відповідних параметрів студента на основі продукційної моделі подання знань.

Фреймова модель подання знань заснована на теорії фреймів М. Мінські, відповідно до якої *фрейм* – це формалізована модель представлення образу [5], тобто він є описом деякого об'єкту. Фрейму присвоюється ім'я і певні слоти, які містять атрибути або процедурні знання, пов'язані з його атрибутами. З кожним слотом може пов'язуватись умова на заповнення або асоційовані процедури.

У більшості систем штучного інтелекту використовують набір фреймів, з'єднаних один з одним певним числом, що утворюють певну ієрархію. Однією з найважливіших властивостей фреймів у таких ієрархіях є наслідування властивостей [3].

Для представлення знань у вигляді *ієрархічної організації фреймів* (ІОФ) весь навчальний матеріал розбивається на навчальні блоки (НБ) різних рівнів ієрархії [6]:

перший рівень	“	навчальна дисципліна;
другий	“	окремі заняття;
третій	“	пункти плану заняття;
четвертий	“	підпункти плану заняття або кванти навчальної інформації (КНІ);
п'ятий	“	підпункти плану заняття або КНІ;
...	...	
$n - 1$ рівень:	“	підпункти плану заняття або КНІ;
$n$	“	КНІ.

Кількість рівнів залежить від глибини структурованості НМ.

Для пунктів та підпунктів плану введено поняття *незалежних навчальних блоків* (ННБ), для яких висувається вимога синтаксичної незв'язності з іншими навчальними блоками (НБ). В межах ННБ виділяють КНІ – сукупність тісно пов'язаної інформації, яка формулює певну думку, але при самостійній подачі може бути незрозумілою або потребувати доповнення іншими КНІ ННБ.

Поділ на НБ має суб'єктивний характер, оскільки залежить від суб'єктивного рішення інженера зі знань або будь-якого іншого суб'єкта, що здійснює структурування матеріалу.

Після поділу НМ на КНІ між ними встановлюються такі типи зв'язку: *синтаксичний*, *змістовний* і *якісний*. Для математичного вираження зв'язку між КНІ введено коефіцієнт залежності (КЗ)  $k$ , який показує щільність зв'язку між двома об'єктами за певними ознаками, він є відносною мірою і набуває значення від нуля до +1. Що ближче значення  $k$  до одиниці, то щільніший зв'язок. При  $k = 0$  зв'язок відсутній.

*Синтаксичний зв'язок* – текст  $i$ -го КНІ побудовано так, що він синтаксично потребує

іншого  $j$ -го КНІ, без  $j$ -го КНІ  $i$ -й КНІ не може бути введений в НМ. Якщо  $j$ -й КНІ синтаксично залежить від  $i$ -го КНІ, то синтаксичний КЗ  $sk_{j,i} = 1$ , інакше  $sk_{j,i} = 0$ .

**Змістовний зв'язок** – КНІ пов'язані за змістом, але необов'язково за синтаксисом. У випадку, коли  $i$ -й КНІ синтаксично залежить від  $j$ -го КНІ, він обов'язково залежить і змістовно. Значення змістовних КЗ ( $zk$ ) встановлюються з використанням інструментальних засобів систем одержання інформації з тексту.

**Якісний зв'язок** – якість засвоєння одного КНІ залежить від якості засвоєння іншого. Значення якісного зв'язку виражається якісним КЗ ( $jk$ ). Якісний КЗ доцільно визначати для змістовно зв'язаних КНІ, оскільки якщо  $j$ -й КНІ не пов'язаний змістовно з  $i$ -м безпосередньо або опосередковано,  $i$ -й КНІ не може мати впливу на якість засвоєння  $j$ -го КНІ.

На початковому етапі КЗ визначаються експертом або експертною системою, але за необхідності їх уточнюють в процесі засвоєння студентами НМ. Формула уточнення залежності досягнення певної якості засвоєння  $j$ -го КНІ від якості засвоєння  $i$ -го КНІ має вигляд:

$$jk_{i,j} = \frac{\sum_{m=1}^l r_{i,j,m}}{l},$$

$$\text{де } r_{i,j,m} = \begin{cases} \frac{z_{i,m}}{z_{j,m}}, & \text{якщо } z_{i,m} \leq z_{j,m} \\ \frac{z_{j,m}}{z_{i,m}}, & \text{якщо } z_{j,m} < z_{i,m} \end{cases},$$

$l$  – кількість одночасних вивчень  $i$ -го та  $j$ -го КНІ;  $m$  – порядковий номер одночасного вивчення цих КНІ  $m \in [1; l]$ ;  $z_{i,m}, z_{j,m}$  – ступінь засвоєння  $i$ -го ( $j$ -го) КНІ при  $m$  вивченні,  $z_{i,m}, z_{j,m} \in [0; 1]$ ;  $r_{i,j,m}$  – якісний КЗ між  $i$ -м та  $j$ -м КНІ при  $m$  вивченні.

Що більше число  $m$ , то точніше визначається  $jk$  між ступенями засвоєння КНІ, оскільки виключаються випадкові залежності.

Значення КЗ для всіх трьох типів зв'язку фіксуються у вигляді трьох різних матриць, елементами яких є відповідні значення КЗ:

	$V_1$	$V_2$	$V_3$	...	$V_n$
$V_1$	1	$k_{1/2}$	$k_{1/3}$	...	$k_{1/n}$
$V_2$	$k_{2/1}$	1	$k_{2/3}$	...	$k_{2/n}$
$V_3$	$k_{3/1}$	$k_{3/2}$	1	...	$k_{3/n}$
...	...	...	...	...	...
$V_n$	$k_{n/1}$	$k_{n/2}$	$k_{n/3}$	...	1

де  $V_i$  – ідентифікатори КНІ,  $k_{i/j}$  – значення КЗ.

Дисципліни АСДН являють собою фрейми найвищого рівня ієрархії. Кожен фрейм цього рівня має визначений набір слотів:

**Слот 1:** перелік дисциплін або деяких їх розділів, на базі яких може викладатися дана дисципліна. Цей перелік формується шляхом наслідування відповідних властивостей фреймів нижніх рівнів ієрархії або визначається інженером з знань.

На формування переліку дисциплін  $[d1, d2, \dots, dn]$  або деяких їх розділів  $[d1(r1), d2(r4), \dots, dn(rm)]$  впливає множина значень змістових і якісних КЗ  $[(zk), (jk)]$  навчальних блоків нижчих рівнів ієрархії даної дисципліни:  $[(zk), (jk)] \rightarrow [d1, d2, \dots, dn] \cup [d1(r1), d2(r4), \dots, dn(rm)]$ .

**Слот 2:** тривалість вивчення дисципліни.

**Слот 3:** перелік ключових понять, які є кінцевою метою вивчення дисципліни з зазначенням ідентифікаторів фреймів, які їх містять.

**Слот 4:** ступінь складності дисципліни.

**Слот 5:** фрейми наступного рівня ієрархії (окремі заняття).

Даний перелік слотів і їх значення в процесі роботи можуть модифікуватися.

Фрейми окремих занять у свою чергу теж мають визначене ім'я, об'єкт опису і перелік слотів:

**Слот 1:** перелік ідентифікаторів зовнішніх змістовно-зв'язаних фреймів із зазначеними змістовними КЗ ( $zk$ ).

**Слот 2:** перелік ідентифікаторів зовнішніх якісно-зв'язаних фреймів із зазначеними якісними КЗ ( $jk$ ).

**Слот 3:** тривалість заняття.

**Слот 4:** перелік ключових понять заняття (визначаються інженером з знань).

**Слот 5:** ступінь важливості заняття.

Що більше заняття змістовно і якісно пов'язане з ключовими поняттями дисципліни, то вищий ступінь його важливості ( $S_v$ ):

$$S_v = \alpha \frac{\sum_{l=1}^n jk_l}{n} + (1 - \alpha) \frac{\sum_{k=1}^m zk_k}{m},$$

де  $jk_l$  –  $l$ -й якісний КЗ;  $n$  – кількість якісних КЗ, значення яких вище деякого порогового значення  $jd$ ;  $zk_k$  –  $k$ -й змістовий КЗ;  $m$  – кількість змістових КЗ, значення яких вище деякого порогового значення  $zd$ ;  $\alpha \in [0; 1]$  – зважений коефіцієнт впливу якісних та змістових КЗ.

**Слот 6:** ступінь складності заняття. Обчислюється виходячи з твердження: складність заняття тим вища, чим нижча ймовірність переходу його на високий ступінь засвоєння з першої спроби.

Нехай, подія  $A$  – проходження заняття на високий ступінь засвоєння з першої спроби. Оцінка ймовірності настання події  $A$ :

$$P(A) = \frac{k_1(A)}{k},$$

де  $k$  – загальна кількість студентів, що пройшли заняття у першій спробі;  $k_1(A)$  – кількість тих, що у першій спробі пройшли заняття на високий ступінь засвоєння.

**Слот 7:** фрейми наступного рівня ієрархії (пункти плану заняття, ННБ, КНІ).

Фрейми пунктів плану заняття містять ті самі слоти, що і фрейми вищих рівнів ієрархії, а їх значення наслідуються з фреймів нижчих рівнів ієрархії або обчислюються спеціальними процедурами. Фрейми даного рівня надалі діляться на підпункти плану заняття і КНІ.

КНІ є кінцевими фреймами кожної з гілок ієрархії, тобто вони можуть розміщуватися на будь-якому рівні, починаючи з четвертого і нижчих рівнів ієрархії, але ними поділ на НБ закінчується. Для фреймів рівня КНІ визначено ті ж слоти, що і для вищих рівнів ієрархії, крім того, вводиться додатковий: перелік синтаксично-зв'язних КНІ з зазначеними синтаксичними КЗ.

Об'єктом фрейму КНІ є змістове наповнення даного КНІ.

На певному етапі роботи частина слотів може залишатися порожньою і заповнюватися або модифікуватися в процесі роботи системи. На рис. 1 зображено фреймову модель БЗ.

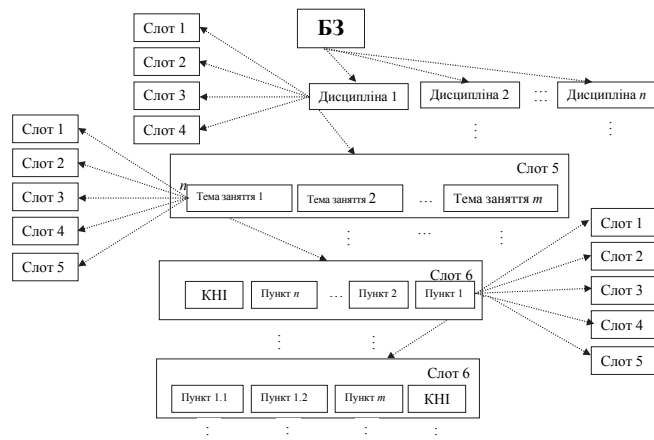


Рис. 1. Фреймова модель бази знань

Для занесення даної ієрархічної структури у БЗ кожен фрейм представляється у вигляді набору параметрів:  $ID, I, P, C_1, C_2, \dots, C_n$ , де  $ID$  – унікальне ім'я фрейму;  $I$  – інформаційна одиниця (об'єкт фрейму);  $P$  – батьківський навчальний блок;  $C_1, C_2, \dots, C_n$  – слоти.

Дане структурування навчального матеріалу є зручним для автоматизації процесу внесення даних у БЗ, оскільки дозволяє швидко створювати і демонструвати групу табличних даних, яка містить тільки інформаційні одиниці і їх ідентифікатори [7]. Після закінчення процесу занесення навчального матеріалу в БЗ запускаються процедури аналізу та визначення необхідних параметрів НБ.

Дана ієрархічна структура дозволяє чітко структурувати НБ і зв'язувати їх з різнотипними параметрами, коли встановлюються зв'язки не тільки між кінцевими фреймами, тобто КНІ, але групуються фрейми у простори (простори пунктів плану заняття, окремих занять або дисциплін) і встановлюються зв'язки між ними. Зв'язувані з БЗ процедури обчислюють і заповнюють значення слотів фреймів. Отже, застосування відповідних процедурних правил дозволяє заповнити слоти коефіцієнтами якісних, змістових і синтаксичних зв'язків, обчислити ступені важливості та складності НБ та інші параметри.

## Побудова індивідуальної траєкторії навчання

Визначення параметрів слотів є важливим для побудови індивідуальної траєкторії навчання в АСДН. Визначення якісних, змістових та синтаксичних зв'язків дозволяє встановити оптимальну послідовність навчання, забезпечити необхідний взаємозв'язок навчального матеріалу, оскільки групуються взаємозалежні кванти, що враховує той факт, що чим довший час між вивченням залежних квантів, тим більша ймовірність забування початкової інформації [8].

З використанням встановлених зв'язків і ІОФ весь навчальний матеріал розбивається на рівні залежності, при чому залежність встановлюється не тільки між КНІ, але й між просторами (доменами) ієрархічної структури:

- перший рівень – КНІ, які не потребують попередніх знань (аксіоми, КНІ та ін.);
- другий “ – КНІ, засновані на знаннях першого рівня;
- третій “ – КНІ, засновані на знаннях першого та/або другого рівнів і т.д.

КНІ, залежні від кількох КНІ і які знаходяться на різних рівнях, залишаються тільки на найвищому рівні зі збереженням попередніх зв'язків (рис. 2.).

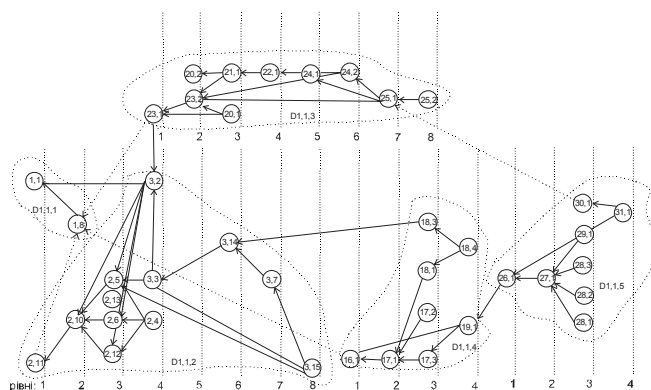


Рис. 2. Реалізації моделі представлення змістових зв'язків між КНІ у вигляді орієнтованого графу

Наведений приклад (див. рис. 2) відображає частину проаналізованого НМ. Ідентифікатори КНІ визначають порядок викладу відповідних КНІ у початковому матеріалі. Виходячи з встановлених зв'язків, доцільно домен, який містить фрейми 20–25 ( $D_{1,1,3}$ ) подавати раніше, ніж до-

мен, який містить фрейми 16–19 ( $D_{1,1,4}$ ), для того, щоб забезпечити послідовний виклад доменів  $D_{1,1,4}$  і  $D_{1,1,5}$ , між якими змістовий зв'язок сильніший, ніж між доменами  $D_{1,1,3}$  і  $D_{1,1,5}$ . А у домені  $D_{1,1,3}$  фрейм 23 перемістити на перше місце, оскільки від нього змістовно безпосередньо чи опосередковано залежить більшість фреймів домену.

Враховуючи перелік ключових понять, які є кінцевою метою вивчення дисципліни і незнання яких визначено з початкового тестування, формується множина НБ, яка містить дані поняття. Ці НБ називаються *ключовими*. Виходячи з КЗ, визначаються спрямовуючі (допоміжні) НБ, необхідні для достатнього засвоєння ключових НБ.

Алгоритм адаптивного формування складових НМ:

1. Визначаються ключові НБ.
2. Використовуючи значення якісних КЗ, формується множина НБ, від яких ключові НБ якісно залежать (якісні НБ).
3. Формується множина НБ, від якої синтаксично залежать ключові і якісні НБ.
4. Відповідно до встановлених зв'язків і сформованих множин НБ будується послідовність навчання.

Це – кістяк НМ. Встановлені КЗ, ступені важливості та складності дають можливість корегувати зміст, складність і послідовність викладу НМ відповідно до моделі студента. Поступове введення змістовних, менш якісно залежних НБ або роз'яснень існуючих знижує складність заняття. Встановлені зв'язки дозволяють компактніше розмістити більш зв'язні НБ, сприяючи тим самим кращому їх засвоєнню. При цьому КНІ, належні одному ННБ мають подаватися лише в межах цього ННБ, а їх кількість в межах даного ННБ варіюється відповідно до встановлених параметрів. Послідовність навчання змінюється при зміні послідовності викладу ННБ різних рівнів ієрархії.

Зміна послідовності і змісту НБ здійснюється на рівні надбудови до ІОФ, тобто занесені в базу знань фрейми фізично не додаються або (видаляються) з БЗ в процесі адаптивного викладу НМ, а адаптація відбувається в резуль-

таті аналізу параметрів слотів, що відповідає класичній теорії фреймів. Якщо виникає необхідність модифікації внесених в базу знань НБ, то відбувається структурна перебудова тієї гілки бази знань, якої стосується модифікація.

Адаптивне представлення НМ здійснюється за використання продукційної моделі, відповідно до якої знання надаються у вигляді правил типу: «Якщо <умова> ТО <висновок>» [9]. Умовна частина складається з елементарних пропозицій, об'єднаних логічними зв'язками «І», «АБО», «НІ». Висновок містить одну або кілька пропозицій, які виражають або деякий факт, або вказівку на певну дію. Для процесу адаптації в умові здійснюється зіставлення параметрів студента і параметрів слотів фреймів, і як результат одержуємо параметри індивідуальної траєкторії навчання.

Відповідно до запропонованої моделі, етап навчання визначається рівнем знань студента, а складність заняття має відповідати ступеню сприйняття нових знань.

Для того, аби визначити ступінь сприйняття студента, статистичних даних якого немає у системі, необхідно запропонувати йому для вивчення новий навчальний матеріал, при чому рівень знань студента має бути достатнім для засвоєння нового матеріалу високого рівня. Тоді ступінь сприйняття  $R(0)$  обчислюється за формулою

$$R(0) = \frac{m}{n},$$

де  $m$  – кількість правильних відповідей (операцій, виконаних правильно),  $n$  – кількість всіх питань (операцій).

Ступінь сприйняття студента є одним з основних факторів, що впливає на ступінь засвоєння нової інформації.

Ступінь засвоєння – це частка правильних відповідей ( $q$ ) (правильно виконаних операцій) у  $l$  завданнях нової теми:  $S = q/l$ .

Швидкість проходження  $\tau$  – зважена сума відношень витраченого часу  $t$  у вдалій спробі до максимально дозволеного часу  $T$  та номера цієї спроби  $i$  до кількості дозволених спроб  $f$ :

$$\tau = (1 - \alpha) \frac{t}{T} + \alpha \left( \frac{i}{f} \right),$$

де коефіцієнт  $\alpha = \frac{f}{f + 1}$ .

Якість засвоєння нового матеріалу  $\mu$  – це півсума ступеня засвоєння  $S$  матеріалу заняття та доповнення до одиниці швидкості проходження заняття  $\tau$ :  $\mu = \frac{S + (1 - \tau)}{2}$ .

Одним із методів визначення необхідних параметрів пропонованого студенту заняття є оцінка ймовірності достатньої якості засвоєння заняття з заданими параметрами.

Ймовірна якість засвоєння визначається через оцінку ймовірного ступеня засвоєння і оцінку ймовірної швидкості проходження.

Ймовірна вдала спроба  $i$  – це спроба, у якій буде досягнуто достатній або необхідний рівень засвоєння, тобто за досягнення якого заняття буде зараховано.

Для дослідження ймовірнісних параметрів використано формулу повної ймовірності та формулу Байєса [10].

Використовуючи статистичні дані проходження занять студентами, ступінь сприйняття яких відповідає ступеню сприйняття досліджуваного студента, визначається кількість студентів, які пройшли заняття у кожній з  $i$  спроб, і їхній ступінь засвоєння (таблиця).

Успішність студентів

Переходи Спроби	$E1 \rightarrow E1$	Згодні	$E1 \rightarrow E2$	Згодні	$E1 \rightarrow E3$	Згодні	$E2 \rightarrow E1$	Згодні	$E2 \rightarrow E2$	Згодні	$E2 \rightarrow E3$	Згодні	$E3 \rightarrow E1$	Згодні	$E3 \rightarrow E2$	Згодні	$E3 \rightarrow E3$	Згодні
	1	9	1	21	15	2	2	6	0	32	25	10	10	1	0	9	1	10
2	5	0	9	7	1	1	2	0	8	5	3	3						
3	2	0	4	3	1	1	0	0	3	2	2	2						
4	1	0	1	1	0	0	0	0	2	2	0	0						

Для дослідження використано статистичні дані проходження занять у АСДН *EduPro* студентами четвертого курсу напрямів підготовки «Інформатика» та «Прикладна математика» Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника з дисципліни «Штучний інтелект».

Шкалою оцінювання значень ступеня засвоєння є десятибальна. Стану  $E_1$  відповідає інтервал  $[0...5)$  – низький рівень, стану  $E_2$  інтер-

вал [5...9) – середній, стану  $E_3$  [9...10] – високий. Позначення  $E_i \rightarrow E_j$  означає перехід із стану  $i$  в стан  $j$ , а «Згодні» – кількість тих, хто згоден з оцінкою в  $i$ -й спробі і не беруть участі у  $i + 1$ -спробі.

Нехай за першою спробою заняття зараховано  $k_1$  студенту, це подія  $H_1$ , за другою –  $k_2$ , це подія  $H_2$ , ..., за  $f$ -спробою –  $k_f$ , це подія  $H_f$ , заняття не зараховано за жодною з  $f$  спроб  $k_{f+1}$  студенту, це подія  $H_{f+1}$ .

Всі події  $H_1, H_2, \dots, H_f, H_{f+1}$  утворюють повну групу попарно несумісних подій, тобто в результаті експерименту (в даному випадку експеримент – це проходження заняття студентом) відбудеться одна і тільки одна з подій [10]. Необхідно визначити ймовірний ступінь засвоєння, тобто ймовірність одержання студентами тієї чи іншої оцінки у кожній із дозволених спроб. Цьому студенту може відповідати тільки одна із подій  $H_1, H_2, \dots, H_f, H_{f+1}$ , тобто йому заняття може бути зараховано тільки за однією з дозволених спроб або не зараховано взагалі. У випадку, коли студент хоче покращити оцінку, одержану у  $i$ -й спробі,  $i$ -та спроба вважається невдалою, а береться до уваги тільки оцінка  $i + 1$ -ї спроби або заняття зараховується за спробою, у якій оцінка вища.

Оскільки події  $H_1, H_2, \dots, H_f, H_{f+1}$  є попарно несумісними, оцінка ймовірності події  $A$ , яка може відбутись у результаті появи однієї з подій  $H_1, H_2, \dots, H_f, H_{f+1}$ , обчислюється за формулою повної ймовірності:

$$P(A) = \sum_{i=1}^{f+1} P(H_i)P_{H_i}(A),$$

де подія  $A$  – є проходження студентом заняття на один із ступенів засвоєння.

$P(H_i)$  – оцінка ймовірності того, що студенту зараховано заняття за  $i$ -ю спробою або не зараховано взагалі у випадку  $i = f + 1$ :

$$P(H_i) = \frac{k_i}{\sum_{i=1}^{f+1} k_i},$$

де  $k_i$  – кількість тих, кому заняття зараховано за  $i$ -ю спробою  $\forall i \in [1; f]$  або не зараховано взагалі у випадку  $i = f + 1$ .

$P_{H_i}(A)$  – оцінка ймовірності проходження студентом заняття на деякий ступінь засвоєння  $A$  у  $i$ -й спробі:

$$P_{H_i}(A) = \frac{k_i(A)}{k_i},$$

де  $k_i(A)$  – кількість тих, що у  $i$ -й спробі пройшли заняття на деякий ступінь засвоєння  $A$ .

Оцінка ймовірності досягнення певного рівня засвоєння (наприклад, оцінки «відмінно») у кожній з  $i$  спроб визначається за формулою Байєса:

$$P_A(H_i) = \frac{P(H_i)P_{H_i}(A)}{\sum_{i=1}^{f+1} P(H_i)P_{H_i}(A)}.$$

Приклад визначення складності і достатньої кількості спроб пропонованого студенту заняття: якщо з достатньою ймовірністю студент пройде заняття третьої складності на потрібний рівень засвоєння, то йому рекомендується ця складність, інакше перевіряється заняття складності  $E_2$ ; якщо і ця складність не підходить, то пропонується заняття складності  $E_1$ , тобто – максимально допустима складність заняття. Потім для заняття цієї складності рекомендується кількість спроб: достатньою буде та кількість, для якої одержана оцінка ймовірності настання події  $A$  буде більша за деяке наперед задане порогове значення  $d$ .

Застосування даних формул до занять з різними типами представлення знань та характеристиками дає змогу визначати параметри заняття, найбільш відповідні індивідуальним характеристикам студента.

**Висновки.** В запропонованому підході до побудови БЗ адаптивних систем дистанційного навчання виділено два основних етапи:

- Формування структури бази знань, її повнення та визначення необхідних параметрів кожного із її елементів.
- Адаптивне представлення знань студенту з урахуванням параметрів елементів БЗ і відповідних параметрів студента.

В основу першого етапу закладено фрейм-ову модель подання знань, а другого – продукційна модель.

Запропонована модель побудови БЗ має такі переваги:

- знання добре структуровані;
- можливість динамічного управління знаннями;
- необов'язковість визначення усіх параметрів;
- можливість відслідковування і ручного режиму зміни параметрів;
- адаптивна видача НМ.

Недоліки більшою мірою проявляються з збільшенням обсягу БЗ:

- за великої кількості НБ довго виконуються всі операції;
- складність перевірки цілісності БЗ.

Перспективним напрямом подальших досліджень є удосконалення запропонованої моделі БЗ.

1. *Войтович І.С.* Застосування інформаційно-комп'ютерних технологій у навчальному процесі ВНЗ в контексті впровадження європейських стандартів освіти // *Наук. пр. Донецького нац. техн. ун-ту. Серія: Педагогіка, психологія і соціологія.* – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – С. 26–30.
2. *Ong J., Ramachandran S.* An Intelligent Tutoring System Approach to Adaptive Instructional Systems. –

United States Army Research Institute for the Behavior and Social Sciences, 2005. – 54 с.

3. *Субботін С.О.* Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: Навч. посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с.
4. *Технічний опис спеціальних позначень стандарту імпорту/експорту «EduPRO/Owl».* – [http://wenet.pu.if.ua/?mod=blog&action=ReviewOneArticle&id\\_ba=18&page=1](http://wenet.pu.if.ua/?mod=blog&action=ReviewOneArticle&id_ba=18&page=1)
5. *Minsky M.* A Framework for Representing Knowledge. – МІТ-AI Laboratory Memo 306, 1974. – 76 с.
6. *Федорук П.І.* Адаптивна система дистанційного навчання та контролю знань на базі інтелектуальних Internet-технологій. – Івано-Франківськ: Плай, 2008. – 326 с.
7. *Уорсли Дж., Дрейк Дж.* *У64 PostgreSQL.* Для професіоналов. – СПб.: Питер, 2003. – 496 с.
8. *Зайцева Л.В.* Модели и методы адаптации в системах компьютерного обучения // Тр. X Всерос. науч.-метод. конф. «Телематика 2003», 14–17 апр. 2003 г. – С-Пб.: С-ПИТМО, 2003. – Т. 2. – С. 502–503.
9. *Бурдаев В.П.* Модели баз знаний: монографія. – Харків: Вид-во. ХНЕУ, 2010. – 300 с.
10. *Венецкий И.Г., Кильдишев Г.С.* Основы теории вероятностей и математической статистики. – М.: Статистика, 1968. – 360 с.

Поступила 03.11.2011

Тел. для справок: (0342) 59-6048, 59-6058  
(Івано-Франковск)

E-mail: [pavlo@pu.if.ua](mailto:pavlo@pu.if.ua), [marichka@pu.if.ua](mailto:marichka@pu.if.ua)  
© П.І. Федорук, М.С. Дутчак, 2012

П.І.Федорук, М.С. Дутчак

## Построение базы знаний адаптивных систем дистанционного обучения на основе фреймовой и продукционной моделей представления знаний

**Введение.** В современном обществе в условиях стремительного развития науки и техники все более актуальной становится задача усовершенствования подготовки кадров в системе многоуровневого непрерывного образования. Происходит реформирование системы образования, переход к многоуровневой структуре подготовки бакалавр/магистр на основе компетентного подхода, согласно которому оценка качества образования основывается не на длительности или содержании обучения, а на знаниях, умениях и навыках, полученных выпускниками [1]. Основной целью учебного учреждения есть формирование ключевых компетенций. Особенностью современной системы образования стала возможность обучения по индивидуальной образовательной траектории, которую сложно организовать с использованием только традиционных систем обучения. На помощь традиционным приходят системы компьютеризированного обучения [2].

Большинство существующих образовательных сред, платформ и порталов, использующих новейшие компьютерные технологии, обычно не адаптивны. Обзор наиболее известных систем, широко используемых в современном дистанционном обучении (ДО), таких как *ANGEL*, *BlackBoard*, *Desire2Learn*, *ILIAS*, *Lotus LearningSpace*, *Moodle*, *WebCT*, *TopClass*, *Zhang* показал, что, как правило, учебный курс, принятый в среде системы ДО, представляет собой набор статических гипертекстовых документов. Поэтому с разработкой и усовершенствованием адаптивных технологий дистанционного образования появится дополнительная возможность предложить студенту индивидуальный план, определяющий наполнение дисциплин и порядок их изложения, время обучения. Любой человек, повышающий свой квалификационный уровень с использованием адаптивных систем ДО (АСДО) идентифицируется термином *студент*.



На данный момент не предложена система, которая в достаточной степени соответствовала бы современным требованиям к АСДО, а именно:

- определение образовательных потребностей и целей студента;
- определение имеющихся у студента знаний и навыков, соответствующих целям обучения;
- определение индивидуальных психофизических особенностей студента;
- построение и адаптивная поддержка релевантного индивидуализированного учебного процесса на основе сведений, полученных в результате выполнения первых трех требований.

Основой АСДО есть база знаний, от эффективной разработки и реализации которой зависит эффективное функционирование всей системы. База знаний (БЗ) – это база данных, разработанная для управления знаниями – сбором, хранением, поиском и выдачей знаний, которые осуществляются на основе интеллектуального анализа установленных связей между элементами БЗ [3]. Выполнение этих функций актуально для АСДО. Большинство БЗ существующих СДО основаны на размещении в них электронных вариантов конспектов традиционных занятий и статической выдачи учебного материала (УМ) независимо от уровня знаний и возможностей студента. Хотя можно выделить системы, при формировании БЗ которых частично учтены принципы адаптивности. Например, БЗ АСДО *EduPro*, разработанная Центром дистанционного обучения и контроля знаний Прикарпатского национального университета имени Василия Стефаника, содержит УМ, структурированный в соответствии с собственными стандартами и имеет возможность его адаптивной выдачи в соответствии с пробелами в знаниях студентов. Однако наполнение БЗ данной системы требует значительных затрат времени и усилий преподавателей или инженеров по знаниям в процессе подготовки УМ для импорта в БЗ [4], также в данной системе недостаточно исследованы и использованы взаимосвязи между отдельными элементами БЗ. В данной публикации предложен новый подход к построению БЗ АСДО, направленный на исправление недостатков, отмеченных при анализе БЗ существующих АСДО, а также на разработку и внедрение дополнительных возможностей данных систем.

### Построение базы знаний АСДО

Согласно предложенному подходу проводится формирование структуры БЗ, ее наполнение и определения необходимых параметров каждого из ее элементов, в основу которого заложено фреймовую модель представления знаний. Далее организуется адаптивное представление знаний студенту с учетом параметров элементов БЗ и соответствующих параметров студента на основе продукционной модели представления знаний.

Фреймовая модель подачи знаний основана на теории фреймов М. Мински, в соответствии с которой фрейм – это формализованная модель представления образа [5], т.е. описания некоторого объекта. Фрейму присваивает-

ся имя и ряд слотов, содержащих атрибуты или процедурные знания, связанные с его атрибутами. С каждым слотом может связываться условие на заполнение или ассоциируемые процедуры.

Большинство систем искусственного интеллекта используют набор фреймов, соединенных определенным числом и образующих определенную иерархию. Одним из наиболее важных свойств фреймов в таких иерархиях есть наследование свойств [3].

Для представления знаний в виде иерархической организации фреймов (ИОФ) весь учебный материал разбивается на учебные блоки (УБ) разных уровней иерархии [6]:

первый уровень	учебная дисциплина;
второй	“ отдельные занятия;
третий	“ пункты плана занятия;
четвертый	“ подпункты плана занятия или кванты учебной информации (КУИ);
пятый	“ подпункты плана занятия или КУИ;
...	...
$n-1$ уровень	подпункты плана занятия или КУИ;
$n$	“ КУИ.

Количество уровней зависит от глубины структурированности УМ. Для пунктов и подпунктов плана введено понятие независимых учебных блоков (НУБ), для них выдвигается требование синтаксической несвязности с другими УБ. В пределах НУБ выделяют КУИ – совокупность тесно связанной информации, которая формулирует определенную мысль, но при самостоятельной подаче может быть непонятной или требовать дополнения другими КУИ НУБ.

Разделение на УБ носит субъективный характер, поскольку зависит от субъективного решения инженера по знаниям или любого другого субъекта, осуществляющего структуризацию материала.

После разделения УМ на КУИ между ними устанавливаются следующие типы связи: *синтаксическая*, *содержательная* и *качественная*. Для математического выражения связи между КУИ введен коэффициент зависимости ( $K3$ )  $k$ .  $K3$  показывает плотность связи между двумя объектами по определенным признакам, он есть относительной мерой и приобретает значение от нуля до +1. Чем более близкое значение  $k$  к единице, тем более плотная связь. При  $k = 0$  связь отсутствует.

*Синтаксическая* связь – текст  $i$ -го КУИ построен так, что он синтаксически требует другого  $j$ -го КУИ, без  $j$ -го КУИ  $i$ -й КУИ не может быть введен в УМ. Если  $j$ -й КУИ синтаксически зависит от  $i$ -го КУИ, то синтаксический  $K3$   $sk_{j,i} = 1$ , иначе  $sk_{j,i} = 0$ .

*Содержательная* связь – КУИ связаны по содержанию, но необязательно по синтаксису. В случае, когда  $i$ -й КУИ синтаксически зависит от  $j$ -го КУИ, он обязательно зависит и содержательно.

*Качественная* связь – качество усвоения одного КУИ зависит от качества усвоения другого КУИ. Значение качественной связи выражается качественным  $K3$  ( $jk$ ). Качественный  $K3$  целесообразно определять для

содержательно связанных КУИ, поскольку если  $j$ -й КУИ не связан содержательно с  $i$ -м КУИ,  $i$ -й КУИ не может иметь влияния на качество усвоения  $j$ -го КУИ.

На начальном этапе КЗ определяются экспертом или экспертной системой, но при необходимости их уточняют в процессе усвоения студентами УМ. Формула уточнения зависимости достижения определенного качества усвоения  $j$ -го КУИ от качества усвоения  $i$ -го КУИ имеет вид

$$jk_{i,j} = \frac{\sum_{m=1}^l r_{i,j,m}}{l},$$

$$\text{где } r_{i,j,m} = \begin{cases} \frac{z_{i,m}}{z_{j,m}}, & \text{если } z_{i,m} \leq z_{j,m} \\ \frac{z_{j,m}}{z_{i,m}}, & \text{если } z_{j,m} < z_{i,m} \end{cases},$$

$l$  – количество одновременных изучений  $i$ -го и  $j$ -го КУИ;  $m$  – порядковый номер одновременного изучения  $i$ -го и  $j$ -го КУИ  $m \in [1; l]$ ;  $z_{i,m}, z_{j,m}$  – степень усвоения  $i$ -го ( $j$ -го) КУИ при  $m$  изучении  $z_{i,m}, z_{j,m} \in [0; 1]$ ;  $r_{i,j,m}$  – качественный КЗ между  $i$ -м и  $j$ -м КУИ при  $m$  изучении.

Чем больше число  $m$ , тем точнее определяется  $jk$  между степенями усвоения КУИ, поскольку исключаются случайные зависимости.

Значение КЗ для всех трех типов связи фиксируются в виде трех разных матриц, элементами которых будут соответствующие значения КЗ:

	$V_1$	$V_2$	$V_3$	...	$V_n$
$V_1$	1	$k_{1/2}$	$k_{1/3}$	...	$k_{1/n}$
$V_2$	$k_{2/1}$	1	$k_{2/3}$	...	$k_{2/n}$
$V_3$	$k_{3/1}$	$k_{3/2}$	1	...	$k_{3/n}$
...	...	...	...	...	...
$V_n$	$k_{n/1}$	$k_{n/2}$	$k_{n/3}$	...	1

где  $V_i$  – идентификаторы КУИ,  $k_{i/j}$  – значение КЗ.

Дисциплины АСДО представляют собой фреймы наивысшего уровня иерархии. Каждый фрейм этого уровня имеет определенный набор слотов:

**Слот 1:** перечень дисциплин или некоторых их разделов, на базе которых может быть изложена данная дисциплина. Этот перечень формируется путем наследования соответствующим свойствам фреймов нижних уровней иерархии или определяется инженером по знаниям.

На формирование перечня дисциплин  $[d1, d2, \dots, dn]$  или некоторых их глав  $[d1(r1), d2(r4) \dots dn(rm)]$  влияет множество значений содержательных и качественных КЗ  $\{(zk), (jk)\}$  УБ низших уровней иерархии данной дисциплины:  $\{(zk), (jk)\} \rightarrow [d1, d2, \dots, dn] \cup [d1(r1), d2(r4) \dots dn(rm)]$ .

**Слот 2:** длительность изучения дисциплины.

**Слот 3:** перечень ключевых понятий, которые представляют собой конечную цель изучения дисциплины с указанием идентификаторов фреймов, их содержащих.

**Слот 4:** степень сложности дисциплины.

**Слот 5:** фреймы следующего уровня иерархии (отдельные занятия).

Данный перечень слотов и их значение в процессе работы могут модифицироваться.

Фреймы отдельных занятий в свою очередь тоже имеют определенное имя, объект описания и перечень слотов:

**Слот 1:** перечень идентификаторов внешних содержательно связанных фреймов с отмеченными содержательными КЗ ( $zk$ ).

**Слот 2:** перечень идентификаторов внешних качественно связанных фреймов с отмеченными качественными КЗ ( $jk$ ).

**Слот 3:** продолжительность занятия.

**Слот 4:** перечень ключевых понятий занятия (определяются инженером по знаниям).

**Слот 5:** степень важности занятия.

Чем больше занятие содержательно и качественно связано с ключевыми понятиями дисциплины, тем выше степень его важности  $S_v$ :

$$S_v = \alpha \frac{\sum_{l=1}^n jk_l}{n} + (1-\alpha) \frac{\sum_{k=1}^m zk_k}{m},$$

где  $jk_l$  –  $l$ -й качественный КЗ;  $n$  – количество качественных КЗ, значение которых выше некоторого порогового значения  $jd$ ;  $zk_k$  –  $k$ -й смысловой КЗ;  $m$  – количество смысловых КЗ, значение которых выше некоторого порогового значения  $zd$ ;  $\alpha \in [0; 1]$  – взвешенный коэффициент влияния качественных и смысловых КЗ.

**Слот 6:** степень сложности занятия. Вычисляется исходя из утверждения: сложность занятия тем выше, чем ниже вероятность выполнить его на высокую степень усвоения с первой попытки.

Пусть, событие  $A$  – прохождение занятия на высокую степень усвоения с первой попытки. Оценка вероятности наступления события  $A$ :

$$P(A) = \frac{k_1(A)}{k},$$

где  $k$  – общее количество студентов, которые проходили занятие в первой попытке;  $k_1(A)$  – количество тех, кто в первой попытке прошел занятия на высокую степень усвоения.

**Слот 7:** фреймы следующего уровня иерархии (пункты плана занятия, НУБ, КУИ).

Фреймы пунктов плана занятия содержат те же слоты, что и фреймы высших уровней иерархии, а их значения наследуются из фреймов низших уровней иерархии или вычисляются с помощью специальных процедур. Фреймы данного уровня в дальнейшем делятся на подпункты плана занятия и КУИ.

КУИ – конечные фреймы каждой из веток иерархии, т.е. они могут размещаться на любом, начиная с четвертого и ниже уровней иерархии, но ими разделение на УБ заканчивается. Для фреймов уровня КУИ определены те

же слоты, что и для высших уровней иерархии, кроме того, вводится дополнительный: перечень синтаксически связанных КУИ с отмеченными синтаксическими КЗ.

Объектом фрейма КУИ есть содержательное наполнение данного КУИ.

На некотором этапе работы часть слотов могут оставаться пустыми и заполняться или модифицироваться в процессе работы системы (рис. 1).

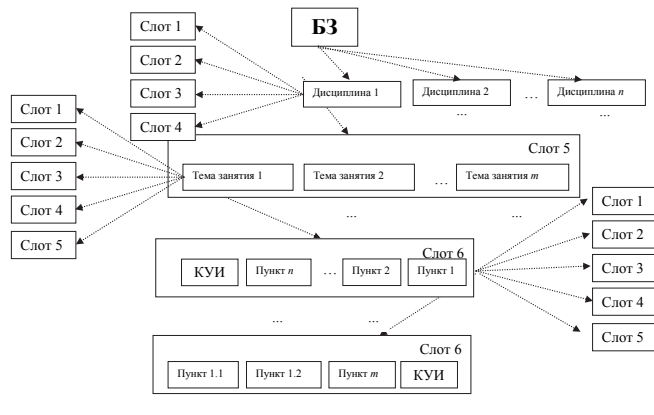


Рис. 1. Фреймовая модель базы знаний

Для внесения данной иерархической структуры в БЗ, каждый фрейм представляется в виде набора параметров:  $ID, I, P, C1, C2, \dots, Cn$ , где  $ID$  – уникальное имя фрейма;  $I$  – информационная единица (объект фрейма);  $P$  – родительский учебный блок;  $C1, C2, \dots, Cn$  – слоты.

Данная структуризация УМ удобна для автоматизации процесса внесения данных в БЗ, поскольку позволяет быстро создавать и демонстрировать группу табличных данных, содержащую только информационные единицы и их идентификаторы [7]. После завершения процесса внесения УМ в БЗ запускаются процедуры анализа и определения необходимых параметров УБ.

Данная иерархическая структура позволяет четко структурировать УБ и связывать их с разнотипными параметрами, когда устанавливаются связи не только между конечными фреймами, т.е. КУИ, но группируются фреймы в пространства (пространства пунктов плана занятия, отдельных занятий или дисциплин) и устанавливаются связи между ними. Связываемые с БЗ процедуры вычисляют и заполняют значения слотов фреймов. Так, применение соответствующих процедурных правил позволяет заполнить слоты коэффициентами качественных, содержательных и синтаксических связей, вычислить степени важности и сложности УБ и другие параметры.

### Построение индивидуальной траектории обучения

Определение параметров слотов важно для построения индивидуальной траектории учебы в АСДО. Определение качественных, содержательных и синтаксических связей позволяет установить оптимальную последовательность учебы, группировать взаимозависимые КУИ, когда учитывается тот факт, что чем более продолжительное

время между изучением зависимых КУИ, тем больше вероятность забывания начальной информации [8].

С использованием установленных связей и ИОФ весь УМ разбивается на уровне зависимости, когда зависимость устанавливается не только между КУИ, но и между пространствами иерархической структуры:

- первый уровень – КУИ, не требующие предыдущих знаний (аксиомы, КУИ и др.);
- второй “ – КУИ, основанные на знаниях первого уровня;
- третий “ – КУИ, основанные на знаниях первого и/или второго уровней и т.д.

КУИ, зависящие от нескольких КУИ, и которые находятся на разных уровнях, остаются только на самом высоком уровне с сохранением предыдущих связей (рис. 2).

Приведенный пример (см. рис. 2) отображает часть проанализированного УМ. Идентификаторы КУИ определяют порядок изложения соответствующих КУИ в начальном материале. Исходя из установленных связей, целесообразно домен, содержащий фреймы 20–25 ( $D_{1,1,3}$ ), подавать раньше, чем домен, содержащий фреймы 16–19 ( $D_{1,1,4}$ ) для того, чтобы обеспечить последовательное изложение доменов  $D_{1,1,4}$  и  $D_{1,1,5}$ , между которыми содержательная связь сильнее, чем между доменами  $D_{1,1,3}$  и  $D_{1,1,5}$ . А в домене  $D_{1,1,3}$  фрейм 23 переместить на первое место, поскольку от него содержательно непосредственно или опосредованно зависит большинство фреймов домена.

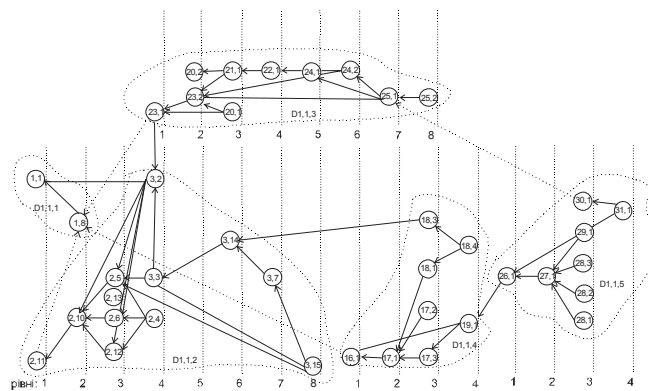


Рис. 2. Пример реализации модели представления содержательных связей между КУИ

Учитывая перечень ключевых понятий, которые есть конечной целью изучения дисциплины и незнание которых определено из начального тестирования, формируется множество УБ, содержащих данные понятия. Эти УБ называются ключевыми. Исходя из КЗ определяются направляющие (вспомогательные) УБ, необходимые для достаточного усвоения ключевых УБ.

Алгоритм адаптивного формирования составляющих УМ:

1. Определяются ключевые УБ.
2. Используя значений качественных КЗ, формируется множество УБ, от которых ключевые УБ качественно зависят (качественные УБ).

3. Формируется множество УБ, от которых синтаксически зависят ключевые и качественные УБ.

4. В соответствии с установленными связями и сформированными множествами УБ строится последовательность учебы.

Это – костяк УМ. Установлены КЗ, степени важности и сложности которых дают возможность корректировать содержание, сложность и последовательность изложения УМ в соответствии с моделью студента. Постепенное введение содержательных, менее качественно зависимых УБ или разъяснений существующих, снижает сложность занятия. Установленные связи позволяют компакнее разместить более связные УБ, способствуя тем самым лучшему их усвоению. При этом КУИ, принадлежащие одним НУБ должны подаваться лишь в пределах этого НУБ, а их количество в пределах данного НУБ варьируется в соответствии с установленными параметрами. Последовательность учебы изменяется с изменением последовательности изложения НУБ разных уровней иерархии.

Изменение последовательности и содержания УБ осуществляется на уровне надстройки над ИОФ, т.е. внесенные в БЗ фреймы физически не добавляются или удаляются из нее в процессе адаптивного изложения УМ, а адаптация происходит в результате анализа параметров слотов, что соответствует классической теории фреймов. Если возникает необходимость модификации внесенных в БЗ УБ, то происходит структурная перестройка той ветви БЗ, которой касается модификация.

Адаптивное представление УМ осуществляется с использованием продукционной модели, в соответствии с которой знания представляются в виде правил: «Если <условие> ТО <вывод>» [9]. Условная часть состоит из элементарных предложений, объединенных логическими связками «И», «ИЛИ», «НЕТ». Вывод содержит одно или несколько предложений, выражающих или некоторый факт, или указание на определенное действие. Для процесса адаптации в условии осуществляется сопоставление параметров студента и параметров слотов фреймов; как результат получаем параметры индивидуальной траектории учебы.

В соответствии с предложенной моделью этап учебы определяется уровнем знаний студента, а сложность занятия должна соответствовать степени восприятия новых знаний.

Чтобы определить степень восприятия студента, статистических данных которого нет в системе, ему необходимо предложить для изучения новый УМ, при этом уровень знаний студента должен быть достаточным для усвоения нового материала высокого уровня. Тогда степень восприятия  $R(0)$  вычисляется по формуле  $R(0) = \frac{m}{n}$ , где

$m$  – количество правильных ответов (правильно выполненных операций),  $n$  – количество всех вопросов (операций).

Степень восприятия студента – один из основных факторов, влияющих на степень усвоения новой информации.

Степень усвоения – это часть правильных ответов (правильно выполненных операций) в  $l$  заданиях новой темы:  $S = q/l$ .

Скорость прохождения  $\tau$  – взвешенная сумма отношений затраченного времени  $t$  в удачной попытке к максимально разрешенному времени  $T$  и номера этой попытки  $i$  к количеству разрешенных попыток  $f$ :

$$\tau = (1 - \alpha) \frac{t}{T} + \alpha \left( \frac{i}{f} \right), \text{ где коэффициент } \alpha = \frac{f}{f+1}.$$

Качество усвоения нового материала  $\mu$  – это полусуммы степени усвоения  $S$  материала занятия и дополнения к единице скорости прохождения занятия  $\tau$ :  $\mu = \frac{S + (1 - \tau)}{2}$ .

Одним из методов определения необходимых параметров предлагаемого студенту занятия есть оценка вероятности достаточного качества усвоения занятия с заданными параметрами.

Вероятное качество усвоения определяется через оценку вероятной степени усвоения и оценку вероятной скорости прохождения.

Вероятная удачная попытка  $i$  – попытка, в которой будет достигнут достаточный или необходимый уровень усвоения, т.е. при достижении которого занятие будет зачтено.

Для исследования вероятностных параметров использована формула полной вероятности и формула Байеса [10].

Используя статистические данные прохождения занятий студентами, степень восприятия которых соответствует степени восприятия исследуемого студента, определяется количество студентов, прошедших занятие в каждой из  $i$  попыток, и их степень усвоения (таблица).

#### Успешность студентов

Попытки	Переходы		E1 → E2		E1 → E3		E2 → E1		E2 → E2		E2 → E3		E3 → E1		E3 → E2		E3 → E3	
	E1 → E1	Согласны	E1 → E2	Согласны	E1 → E3	Согласны	E2 → E1	Согласны	E2 → E2	Согласны	E2 → E3	Согласны	E3 → E1	Согласны	E3 → E2	Согласны	E3 → E3	Согласны
1	9	1	21	15	2	2	6	0	32	25	10	10	1	0	9	1	10	10
2	5	0	9	7	1	1	2	0	8	5	3	3						
3	2	0	4	3	1	1	0	0	3	2	2	2						
4	1	0	1	1	0	0	0	0	2	2	0	0						

Для исследования использовались статистические данные прохождения занятий в АСДО *EduPro* студентами четвертого курса подготовки в направлениях «Информатика» и «Прикладная математика» Прикарпатского национального университета имени Василя Стефаника по дисциплине «Искусственный интеллект».

Шкала оценивания значений степени усвоения – десятибалльная. Состоянию  $E_1$  соответствует интервал [0;5) – низкий уровень, состоянию  $E_2$  – интервал [5;9) – сред-

ний, состоянию  $E_3 - [9;10]$  – высокий. Выражение  $E_i \rightarrow E_j$  означает переход из состояния  $i$  в состояние  $j$ , а «Согласны» – количество согласных с оценкой в  $i$ -й попытке и не участвующих в  $i + 1$ -й попытке.

Пусть по первой попытке занятия зачтено  $k_1$  студенту, это событие  $H_1$ , по второй –  $k_2$ , – событие  $H_2$ , по  $f$  попытке –  $k_f$ , – событие  $H_f$ , занятие не зачтено ни по одной из  $f$  попыток  $k_{f+1}$  студенту, – событие  $H_{f+1}$ .

Все события  $H_1, H_2, \dots, H_f, H_{f+1}$  образуют полную группу попарно несовместимых событий, т.е. в результате эксперимента (прохождение занятия студентом) состоится одно и только одно из событий [10]. Необходимо определить предполагаемую степень усвоения, т.е. вероятность получения студентами той или иной оценки в каждой из разрешенных попыток. Уровню знаний этого студента может соответствовать только одно из событий  $H_1, H_2, \dots, H_f, H_{f+1}$ , т.е. ему занятие может быть зачтено только в одной из разрешенных попыток или не засчитано вообще. В случае, когда студент хочет улучшить оценку, полученную в  $i$ -й попытке, эта попытка считается неудачной, а учитывается только оценка  $i + 1$ -й попытки или занятие засчитывается по попытке, в которой оценка выше.

Поскольку события  $H_1, H_2, \dots, H_f, H_{f+1}$  попарно несовместимы, оценка вероятности события  $A$ , которая может состояться в результате появления одного из событий  $H_1, H_2, \dots, H_f, H_{f+1}$ , вычисляется по формуле полной вероятности:  $P(A) = \sum_{i=1}^{f+1} P(H_i)P_{H_i}(A)$ , где событие  $A$  – это прохождение студентом занятия на одну из степеней усвоения.

$P(H_i)$  – оценка вероятности того, что студенту зачтено занятие по  $i$ -й попытке или не зачтено вообще в случае  $i = f + 1$ :

$$P(H_i) = \frac{k_i}{\sum_{i=1}^{f+1} k_i},$$

где  $k_i$  – количество тех, кому занятие зачтено по  $i$ -й попытке  $\forall i \in [1; f]$  или не зачтено вообще в случае  $i = f + 1$ .

$P_{H_i}(A)$  – оценка вероятности прохождения студентом занятия на некоторую степень усвоения  $A$  в  $i$ -й попытке:

$$P_{H_i}(A) = \frac{k_i(A)}{k_i},$$

где  $k_i(A)$  – количество тех, кто в  $i$ -й попытке прошел занятия на некоторую степень усвоения  $A$ .

Оценка вероятности достижения определенного уровня усвоения (например, оценки *отлично*) в каждой из  $i$  попыток определяется с помощью формулы Байеса:

$$P_A(H_i) = \frac{P(H_i)P_{H_i}(A)}{\sum_{i=1}^{f+1} P(H_i)P_{H_i}(A)}.$$

Пример определения сложности и достаточного количества попыток предлагаемого студенту занятия: если с достаточной вероятностью студент пройдет занятие третьей сложности на нужный уровень усвоения, то ему рекомендуется эта сложность, иначе проверяется занятие сложности  $E_2$ , если и эта сложность не подходит, то предлагается занятие сложности  $E_1$ , т.е. максимально допустимая сложность занятия. Затем для занятия этой сложности рекомендуется количество попыток: достаточным будет то количество, для которого полученная оценка вероятности наступления события  $A$  будет больше некоторого заданного порогового значения  $d$ .

Применение данных формул к занятиям с разными типами представления знаний и характеристиками дает возможность определять параметры занятия, наиболее соответствующие индивидуальным характеристикам студента.

**Заключение.** В предложенном подходе к построению БЗ адаптивных систем дистанционного обучения можно выделить два основных этапа:

I. Формирование структуры БЗ, ее наполнения и определения необходимых параметров каждого из ее элементов.

II. Адаптивное представление знаний студенту с учетом параметров элементов БЗ и соответствующих параметров студента.

В основу первого этапа заложена фреймовая модель представления знаний, а второго – продукционная модель.

Преимущества предложенной модели построения БЗ:

- знания хорошо структурированы;
- возможность динамического управления знаниями;
- необязательность определения всех параметров;
- возможность отслеживания и ручного режима изменения параметров;
- адаптивная выдача УМ.

Недостатки в большей мере проявляются при увеличении объема БЗ:

- при большом количестве УБ долго выполняются все операции;
- сложность проверки целостности БЗ.

Перспективным направлением дальнейших исследований будет усовершенствование предложенной модели БЗ.