



І.Ю. Шубін¹, Г.Г. Четвериков², В.А. Ляшик³, Н.О. Шанидзе⁴

¹Кандидат технічних наук, професор кафедри програмної інженерії,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
igor.shubin@nure.ua, ORCID iD: 0000-0002-1073-023X

²Доктор технічних наук, професор кафедри програмної інженерії,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
grirorij.chetverykov@nure.ua, ORCID iD: 0000-0001-5293-5842

³Аспірант кафедри програмної інженерії,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
volodymyr.liashyk@nure.ua, ORCID iD: 0000-0001-7326-0813

⁴Кандидат соціологічних наук, доцент кафедри соціології та політології,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
nashanidze@ukr.net ORCID iD 0000-0002-9613-186X

АДАПТИВНЕ ТЕСТУВАННЯ ЗНАТЬ МЕТОДАМИ ЛОГІЧНИХ МЕРЕЖ

Під адаптивним тестовим контролем розуміють комп'ютеризовану систему науково обґрунтованої перевірки й оцінювання результатів навчання, що має високу ефективність за рахунок оптимізації процедур генерації, пред'явлення й оцінки результатів виконання адаптивних тестів, що заснована на методах побудови та оптимізації логічних мереж. Алгоритми підбору й пред'явлення завдань будуються за принципом зворотного зв'язку, коли при правильній відповіді суб'єкта навчання чергове завдання вибирається більш важким, а невірна відповідь спричиняє пред'явлення наступного більш легкого завдання, ніж те, на яке суб'єктом навчання була дана невірна відповідь. Також є можливість завдання додаткових питань по темах, які суб'єкт навчання знає не дуже добре для більш точного з'ясування рівня знань у даних областях. Вибір алгоритмів тестування наразі фактично обмежений формами представлення тестових завдань і алгоритмами оцінювання результатів тестування. Досягнення більш високих результатів і підвищення мотивації навчання в остаточному підсумку є основною метою тестування знань. Для визначення базового алгоритму, необхідно навести сценарій роботи системи. У його основі лежить модель приймання іспиту викладачем у студента, як модель адаптивного тестування. Такий вибір сценарію роботи системи обумовлений тим, що, по-перше, дана процедура історично добре формалізована, по-друге, при проектуванні тестів, їх розробнику необхідно спиратися на загальноприйняті, відомі й використовувані їм методи з мінімальною модифікацією.

ДИСТАНЦІЙНА ОСВІТА, ЛОГІЧНА МЕРЕЖА, АЛГЕБРА СКІНЧЕННИХ ПРЕДИКАТІВ, ДИСТАНЦІЙНЕ ТЕСТУВАННЯ ЗНАТЬ, МОДЕЛЬ СУБ'ЄКТА НАВЧАННЯ

Шубин И.Ю., Четвериков Г.Г., Ляшик В.А., Шанидзе Н.А. Адаптивное тестирование знаний методами логических сетей. Под адаптивным тестовым контролем понимают компьютеризированную систему научно обоснованной проверки и оценки результатов обучения, имеет высокую эффективность за счет оптимизации процедур генерации, предъявления и оценки результатов выполнения адаптивных тестов, основанная на методах построения и оптимизации логических сетей. Алгоритмы подбора и предъявления задач строятся по принципу обратной связи, когда при правильном ответе субъекта обучения очередное задание выбирается более тяжелым, а неверный ответ вызывает предъявления следующего более легкого задания, чем то, на которое субъектом обучения была дана неверная ответ. Также имеется возможность задания дополнительных вопросов по темам, которые субъект обучения знает не очень хорошо для более точного выяснения уровня знаний в данных областях. Выбор алгоритмов тестирования пока фактически ограничен формами представления тестовых заданий и алгоритмами оценки результатов тестирования. Достижения более высоких результатов и повышения мотивации обучения в конечном итоге является основной целью тестирования знаний. Для определения базового алгоритма, необходимо привести сценарий работы системы. В его основе лежит модель принятия экзамена преподавателем у студента, как модель адаптивного тестирования. Такой выбор сценария работы системы обусловлен тем, что, во-первых, данная процедура исторически хорошо формализована, во-вторых, при проектировании тестов, их разработчику необходимо опираться на общепринятые, известные и используемые им методы с минимальной модификацией

ДИСТАНЦИОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ, ЛОГИЧЕСКАЯ СЕТЬ, АЛГЕБРА КОНЕЧНЫХ ПРЕДИКАТОВ, ДИСТАНЦИОННОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ЗНАНИЙ, МОДЕЛЬ ОБУЧАЕМОГО

Shubin I.Yu., Chetverikov G.G., Liashyk V.A., Shanidze N.A. Adaptive Testing Of Knowledge by Methods of Logical Networks. Adaptive test control is a computerized system of scientifically based verification and evaluation of learning outcomes, which is highly effective by optimizing the procedures for generating, presenting and evaluating the results of adaptive tests, based on methods of building and optimizing logical networks. Algorithms for selection and presentation of tasks are based on the principle of feedback, when the correct answer of the subject of training is the next difficult task, and the wrong answer causes the presentation of the next easier task than that to which the subject of training the wrong answer was given. It is also possible to ask additional questions on topics that the subject does not know very well to clarify the level of knowledge in these areas. The choice of testing algorithms is currently actually limited by the forms of

presentation of test tasks and algorithms for evaluating test results. Achieving higher results and increasing the motivation to learn is ultimately the main goal of testing knowledge. To determine the basic algorithm, it is necessary to provide a scenario of the system. It is based on the model of taking the exam by a teacher as a model of adaptive testing. This choice of the scenario of the system is due to the fact that, firstly, this procedure is historically well formalized, and secondly, when designing tests, their developer must rely on common, known and used methods with minimal modification.

DISTANCE EDUCATION, LOGICAL NETWORK, ALGEBRA OF FINITE PREDICATES, DISTANCE TESTING OF KNOWLEDGE, MODEL OF SUBJECT OF LEARNING

Вступ

Наразі серед проблем дистанційної освіти [1] особливе місце займає проблема автоматизації контролю знань. Питання комп'ютерного контролю становлять великий інтерес для викладачів вузів і розробників програмних засобів реалізації такого контролю. Тим часом, питання комп'ютерного контролю знань недостатньо широко освітлені в теоретичному плані, і інтерес до них зазвичай реалізується в більшості випадків шляхом створення чергової програми комп'ютерного контролю із задалегідь складеним набором контрольних завдань. Засоби адаптивного тестування недостатньо висвітлені й опрацьовані недостатньо прозоро.

Контроль знань або тестування – процес, що проводиться з метою визначення рівня знань суб'єкта навчання [2]. Це найбільш стандартизований і об'єктивний метод контролю й оцінювання знань, умінь і навичок суб'єкта навчання, який позбавлений таких традиційних недоліків інших методів контролю знань, як неоднорідність вимог, суб'єктивність екзаменаторів, невизначеність системи оцінювання і т.ін. Рівні знань зазвичай дискретизуються. При такому підході, тестування може розглядатися як деякий діагностичний процес, а стани, що характеризують оцінки знань суб'єкта навчання, – як діагностичні стани. Тести є ефективним засобом перевірки якості знань, одержуваних студентами, і оперативного контролю ходу навчання [3]. Інформаційні освітні ресурси (ІОР), що містять тестові матеріали, можна розбити на дві категорії:

- такі, що орієнтовані на проходження студентами тестів у письмовій формі з подальшою перевіркою вручну викладачем (як варіант – сканування результатів тестування з метою їх подальшої автоматизованої перевірки);

- системи комп'ютерного тестування (СКС) з відповідним наповненням тестовими матеріалами.

Переваги другої категорії тестових ІОР очевидні. Вони дозволяють звільнити викладача від рутинної роботи при проведенні іспитів і проміжній оцінці знань у традиційному навчальному процесі, а при навчанні з використанням дистанційних технологій стають основним засобом контролю; надають можливість автоматизації обробки результатів, об'єктивність контролю й швидкість перевірки якості підготовки великого числа тестуємих по широкім колу питань. Це дозволяє визначити розділи, які представляють найбільшу складність у вивченні,

і, можливо, коректувати процес навчання залежно від результатів тестування. Надають можливість реалізації навчальної функції та дозволяють впровадити методи індивідуалізації процесу засвоєння знань суб'єктами навчання [4].

Функції контролю знань носять не тільки контролюючий характер, але також навчально-виховний і розвиваючий. Тестування є важливим елементом не тільки контролю знань, але й навчання. При навчальній організації процесу тестування користувачеві після проходження тесту надаються посилання на ті розділи навчального матеріалу, на запитання по яких він відповів невірно. Для досягнення зазначених результатів необхідно швидкими темпами розбудувати дистанційну форму навчання, впровадження якої в Україні передбачене Національною програмою інформатизації.

Контролююча функція [5] полягає у виявленні стану знань і вмінь учнів, рівня їх розвитку, у вивченні ступеня засвоєння приймань пізнавальної діяльності, навичок раціональної навчальної праці. За допомогою контролю визначається вихідний рівень для подальшого опанування знаннями, уміннями й навичками, вивчається глибина й обсяг їх засвоєння. Порівнюються планований рівень з дійсними результатами, встановлюється ефективність використовуваних викладачем методів, форм і засобів навчання.

Навчальна функція [6] контролю полягає в удосконалюванні знань і вмінь, їх систематизації. У процесі перевірки учні повторюють і закріплюють вивчений матеріал. Вони не тільки відтворюють раніше вивчене, але й застосовують знання й уміння в новій ситуації. Перевірка допомагає виділити головне, основне в досліджуваному матеріалі, зробити, що перевіряються знання й уміння більш ясними й точними. Контроль сприяє також узагальненню й систематизації знань.

Сутність діагностичної функції контролю [7] – в одержанні інформації про помилки, недоліки й про біли у знаннях і вмінях суб'єкта навчання, причинах, що їх породжують, та аналізу утруднень учнів в оволодінні навчальним матеріалом при чисельних помилках. Результати діагностичних перевірок допомагають вибрати найбільш інтенсивну методику навчання, а також уточнити напрями подальшого вдосконалювання змісту, методів та засобів навчання.

Прогностична функція [8] перевірки служить одержанню випереджальної інформації про навчально-виховний процес. У результаті перевірки знань

одержують підстави для прогнозу про хід певного відрізка навчального процесу: чи досить сформовані конкретні знання, уміння й навички для засвоєння наступної порції навчального матеріалу (розділу, теми). Результати прогнозу використовують для створення моделі подальшої поведінки, суб'єкта навчання, допускає сьогодні помилки даного типу або, що він має певні пробіли в системі приймань пізнавальної діяльності. Прогноз допомагає одержати вірні висновки для подальшого планування.

1. Постановка задачі

Під адаптивним тестовим контролем розуміють комп'ютеризовану систему науково обґрунтованої перевірки й оцінювання результатів навчання, що має високу ефективність за рахунок оптимізації процедур генерації, пред'явлення й оцінки результатів виконання адаптивних тестів [9].

Ефективність контрольних оцінних процедур підвищується при використанні багатокрокової стратегії відбору й пред'явлення завдань, заснованої на алгоритмах з повною контекстною залежністю, у яких черговий крок відбувається тільки після оцінки результатів виконання попереднього кроку (або кроків). Після виконання випробуванням чергового завдання шораз виникає потреба в ухваленні рішення про вибір рівня складності наступного завдання залежно від того, вірною або невірною була попередня відповідь [10].

Алгоритми відбору й пред'явлення завдань будуються за принципом зворотного зв'язку, коли при правильній відповіді суб'єкта навчання чергове завдання вибирається більш важким, а невірна відповідь спричиняє пред'явлення наступного більш легкого завдання, ніж те, на яке суб'єктом навчання була дана невірна відповідь. Також є можливість завдання додаткових питань по темах, які суб'єкт навчання знає не дуже добре для більш точного з'ясування рівня знань у даних областях. Таким чином, можна сказати, що адаптивна модель нагадує викладача на іспиті — якщо суб'єкт навчання відповідає на питання, що задаються, впевнено й правильно, викладач досить швидко ставить йому позитивну оцінку. Якщо той, кого навчають, починає давати неправильні відповіді, то викладач задає йому додаткові або навідні запитання того ж рівня складності або по тій же темі. І, нарешті, якщо суб'єкт навчання із самого початку відповідає погано, оцінку викладач теж ставить досить швидко, але негативну.

В літературі введено два поняття: «логіт рівня знань» і «логіт рівня труднощів завдання» [11]. Першу він визначив як натуральний логарифм відношення частки правильних відповідей випробуваного, на всі завдання тесту, до частки неправильних відповідей, а другу — як натуральний логарифм іншого відношення — частки неправильних відповідей на

завдання тесту до частки правильних відповідей на тіж самі завдання, по множині випробуваних. Єдина логарифмічна шкала дозволяє встановити необхідну відповідність між рівнем підготовки й труднощами завдання й, більше того, зробити корекцію результатів тестування при тестах різної складності [12].

Адаптивне тестування визначається як «сукупність процесів генерації, пред'явлення й оцінки результатів виконання адаптивних тестів, що забезпечує приріст ефективності вимірів у порівнянні із традиційним тестуванням завдяки оптимізації добору характеристик завдань, їх кількості, послідовності й швидкості пред'явлення стосовно до особливостей підготовки тестуємих» [13-14].

При адаптивному тестуванні в процесі проходження тесту (або набору тестів) будується модель суб'єкта навчання, яка використовується для генерації або вибору наступних завдань тестування залежно від рівня підготовки суб'єкта навчання. У комплексних системах отримана модель також може використовуватися в процесі навчання. У наш час адаптивне тестування реалізується в основному у вигляді алгоритмів комп'ютерного тестування.

Адаптивне тестування повинне задовольняти наступним вимогам:

- можливість регулювати пропорції підготовлених легких, середніх і важких завдань в залежності від числа правильних відповідей суб'єкта навчання;
- можливість регулювати пропорцій запропонованих різних тематичних розділів навчальної програми в тесті;
- можливість регулювання рівнів складності запропонованих тестів з урахуванням семантичної компетенції тестуємого;
- включення адаптивного механізму переведення на більш високий рівень завдань на тому ж самому рівні запропонованих завдань;
- кожне завдання більш високого рівня оцінюється більш високими балами.

Вибір алгоритмів тестування наразі фактично обмежений формами представлення тестових завдань і алгоритмами оцінювання результатів тестування. Досягнення більш високих результатів і підвищення мотивації навчання в остаточному підсумку є основною метою тестування знань [15]. Сам процес тестування обумовлений алгоритмом тестування повинен бути максимально формалізований і, у той же час, гнучкий для того щоб одержувати адекватні оцінки знань тестуємих. Крім того, можливість регулювати пропорції запропонованих легких, середніх і трудних завдань залежно від числа правильних відповідей тестуємого є нетривіальною вимогою. Це пов'язане з тим, що, в остаточному підсумку, при оцінці здатностей суб'єкта навчання так чи інакше використовуються статистичні методи для валідної апроксимації функції успіху в розумінні моделі Раша.

2. Опис проведених теоретичних досліджень

Самі набори тестових завдань, що розробляються, повинні бути адекватним відбиттям предметної галузі, а сама процедура адаптивного тестування (включаючи розроблені тести, алгоритми тестування, алгоритми оцінювання знань) повинна надійно контролюватися в процесі розробки й тестуватися як продукт.

Таким чином, вибір такого алгоритму тестування, структури тестів, які б задовольняли викладеним вимогам і характеристикам не є тривіальним завданням і надалі визначається як завдання дослідження.

Моделі лінійного програмування для конструювання систем багатоступінчастого тестування заснована на критерії максимуму інформації, що дозволяє брати до уваги різноманітні обмеження для різних тестових структур. Можливість включення таких обмежень у системи східчастого адаптивного тестування привернула увагу до цього методу. Одним з видів багатоступінчастого підходу є пірамідальне тестування, що представлено на рис. 1.

Стадії тестування	1	2	3	4	5	6	7
Відповіді піддослідного	+	+	+	-	+	-	-

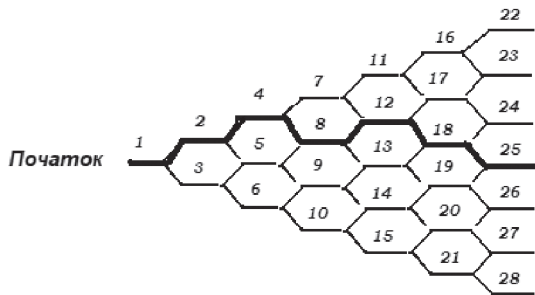


Рис. 1. Пірамідальна модель адаптивного тестування

На рис. 1 жирною лінією показаний маршрут одного суб'єкта навчання (траєкторія відповідей на запитання).

Якщо зміна порядку пред'явлення тестового завдання відбувається на кожному кроці тестування (постійна адаптація), то траєкторія відповідей на запитання прийме вид представлений на рис. 2.

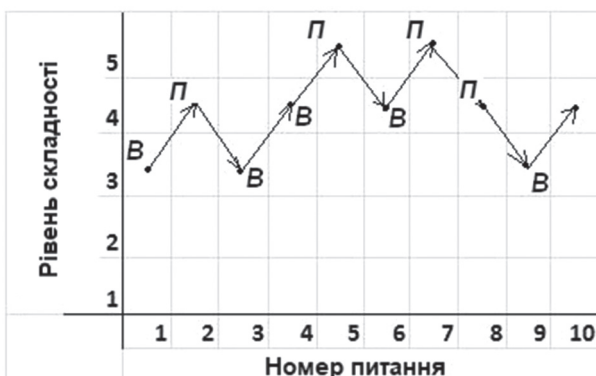


Рис. 2. Схема проходження завдань при постійній адаптації (П – помилкова відповідь, В – вірна відповідь)

Якщо ухвалення рішення про зміну порядку проходження завдань здійснюється після аналізу результатів звітів випробуваного на спеціальному блоку завдань (блокова адаптація), то схема проходження завдань має такий вигляд (див. рис. 3).

На протизагу дискретним завданням, множини завдань встановлюють так звані блоки, що являють собою зв'язані завдання, які об'єднані загальною тематикою (або за іншою ознакою), притому ці зв'язки розглядаються як неподільні одиниці.

Блоки питань об'єднані таким чином, що припускають фіксований порядок видачі тестових завдань.



Рис. 3. Схема проходження завдань при блоковій адаптації: (О – помилкова відповідь, В – вірна відповідь)

Методи лінійного програмування вводять обмеження через алгоритм вибору завдання. Останні два підходи вбудовують усі обмеження безпосередньо в групу з множині тестів з якої потім проводиться керування самим процесом тестування. Відмінності між наведеними методами призводять до наступних аспектів:

- до рівня адаптації, який можливий під час тестування;
- до розширення опису самого завдання;
- до можливості експертній оцінці дійсного змісту тестів;
- до природи реалізації обмежень, керованих процесом тестування;
- до можливості порушення цих обмежень.

Методи передбачають відновлення оцінки знань після кожного тестового завдання – у такий спосіб вони припускають можливість максимального рівня адаптації. Однак, для того щоб процедура тестування була успішною, обоє методи враховують усі стосовні до завдання закодовані атрибути. Якщо потенційно важливий атрибут пропущений, зміст тесту може стати розбалансованим. Також виконується мінімізація тільки зважених сум відхилень від обмежень, тому деякі із цих обмежень можуть бути втрачені навіть тоді, коли повністю виконане кодування атрибутів тестового завдання.

В послідовних підходах вибір завдань і реалізація обмежень є зв'язаними. Хоча послідовний вибір тестових завдань припускає оптимальну адаптацію,

послідовна реалізація обмежень не є ідеальною. Алгоритми з такими особливостями мають схильність до вибору завдань із найбільшою кількістю зв'язків з іншими темами на початку тестування. Однак вибір деяких із цих питань може виявитися не оптимальним при подальшому проходженні тесту. У цьому випадку це призведе до того, що результат оцінки знань буде менш адекватним, ніж при оптимальному адаптивному тестуванні та/або до неможливості завершення тесту без порушення обмежень.

В експертних методах є опція експертного оцінювання всього тестового матеріалу перед процедурою тестування. Явне кодування істотних для завдань атрибутів не завжди є необхідним. Також ці підходи не мають повної адаптації при виборі завдання. Ці методи дозволяють часткову адаптацію з ієрархічними переходами. Завдання угруповання блоків тестових завдань і створення багатоступінчастої тестової системи, таким чином, щоб будь-яка частина системи задовольняла всім обмеженням, призводить до великої комбінаторної проблеми, яка у свою чергу може призвести до неоптимальної системи з ієрархічними переходами та/або до порушення обмежень. Однак, як було відзначено, формальні методи для створення багатоступінчастих систем тестування існують.

Використання формальних методів для створення багатоступінчастих систем тестування дозволяє одержати явне кодування всіх важливих для завдання атрибутів.

Аналіз здійснювався за наступними критеріями:

- інформативність – застосування принципу максимуму інформації для кінцевої кількості заданих тестових завдань (теорія Г.Раша);

- статистична обробка – у процесі тестування здійснюється оцінювання здатностей суб'єкта тестування методами математичної статистики (наприклад j -та ймовірність правильної відповіді на завдання i -го рівня складності), крім цього статистична обробка дозволяє визначити момент закінчення процесу тестування, що відбувається, коли функція розподілу j -х ймовірностей правильних відповідей на завдання i -го рівня складності змінюється несуттєво.

- імовірність помилок – це ймовірність того, що тестування буде проводитися неадекватно знанням суб'єкта тестування або відбудеться порушення обмежень системи тестування;

- складність проектування;

- адекватність оцінки знань суб'єкта тестування;

- рівень адаптації, що пов'язаний із критерієм інформативності – чим вище рівень адаптації, тим вище інформативність системи;

- експертна оцінка – результативний висновок, що дозволяє робити висновки про ті або інші властивості тестових завдань;

- формалізація процедур створення тестових завдань і обмежень, що припускає застосування

рутинного алгоритму для досягнення завдання мети при певному наборі початкових умов.

Оцінка існуючих методів комп'ютерного адаптивного тестування призводить до дуже важливої дилеми. Алгоритм із оптимальними властивостями повинен був би вибирати завдання в такій послідовності, яка дозволяла досягати оптимальної адаптації й одночасно враховувати всі обмеження для того, щоб запобігти порушенням деяких з них або не одержати неоптимальну адаптацію при подальшій тестуванні.

Можливі наступні вирішення цієї дилеми.

- реалізація алгоритму з можливістю повернення назад, для того щоб поліпшити наступні рішення;

- реалізація маршового алгоритму, який би враховував наслідки прийнятих у майбутньому рішень. При адаптивному тестуванні відстеження у зворотному порядку неможливо, алгоритм застосовується в масштабі реального часу і попередній вибір не може бути відмінний. Таким чином, залишається тільки одна можливість – використовувати алгоритм, який щораз вибирає нове завдання. Це винятково новий клас алгоритмів.

3. Опис методу адаптивного тестування із застосуванням логічних мереж

3.1. *Моделі рішення завдання адаптивного тестування.*

Для визначення базового алгоритму, необхідно навести сценарій роботи системи. У його основі лежить парадигма приймання іспиту викладачем у студента, як модель адаптивного тестування. Такий вибір сценарію роботи системи обумовлений тим, що, по-перше, дана процедура історично склалася дуже давно й добре формалізована, по-друге, при проектуванні тестів, їх розробникам необхідно спиратися на загальноприйняті, відомі й використовувані їмі методи з мінімальною модифікацією. Сам алгоритм адаптивного тестування повинен супроводжуватися на кожному кроці (при переході від одного завдання до іншого) максимальною інформативністю (надавати максимум інформації про відповіді студента на кожне питання, що було запропоновано). У той же час, не можна повністю відмовлятися від обліку суб'єктивних властивостей суб'єкта навчання, які можуть виражатися в нерозумінні очевидно поставленого питання або завдання.

Додаткові питання є невід'ємною частиною тестів за певних умов, однак потрібно врахувати:

- не всі додаткові питання є тотожними як з погляду складності, так і з погляду повноти відповідності основному питанню;

- ланцюжки додаткових питань є логічно зв'язаними послідовностями;

- питання (як основні, так і додаткові) задаються послідовно, тобто неможливо задати два або більше питань одночасно;

- частота пред'явлення додаткових питань різна.

За базову, модель системи адаптивного тестування, обрано представлення у вигляді логічних мереж та математичні моделі алгебри скінченних предикатів, яке має наступні властивості:

- основною одиницею є питання певної складності, у якого можуть бути ланцюги додаткових питань;

- вибір додаткового питання визначається виходячи з імовірності появи кожного додаткового питання як потоку найпростіших подій з шляхом логічного висновку на вибір невірної відповіді;

- система тестів є замкненою в розумінні логічних мереж, тобто якщо питання (основне або додаткове) являє собою стан s_i , що має предикат виконання тестового завдання $P(s_i)$, то логічна сума предикатів тестових відповідей та перебування системи в стані S тотожно визначається як:

$$P = \vee P(s_i) = 1,$$

- зазначений стан – тестове завдання як процес оцінювання знань і вмінь суб'єкта навчання, повинне виконуватися у випадку вдалої відповіді на одне з питань та/або додаткового питання (або їх ланцюга), тобто видалення одного з питань не повинне призвести до присвоєння стану нульового значення.

Остання вимога дозволяє обходити питання нескінченно, тобто завершення тесту можливо в наступних випадках:

- вичерпані всі питання в банку тестових завдань;

- досягнуто кінець тесту;

- рівень знань оцінений з достатньою точністю;

- рівень знань суб'єкта навчання визначений як недостатній для досягнення критерію проходження тесту;

- суб'єкт навчання демонструє свою неспроможність при відповідях на запитання тесту.

Подання алгоритму тестування у вигляді предикатного опису логічних мереж не є вичерпним. Як відзначалося раніше, як при правильній, так і при невірній відповіді на запитання повинно ухвалюватися одне з наступних рішень:

- перехід до наступного основного питання з вибором рівня його складності;

- перехід до додаткових питань (до їхніх дерев), при цьому потрібно відкинути вже задані додаткові питання (як окремі, так і їх дерева);

- повернення до основного питання, якщо отримана відповідь на додатковий (або додаткові) питання;

- закінчення тестування.

Тестове завдання як суб'єкт у розглянутому процесі тестування припускає виконання правил, що закладені екзаменатором. Це відповідає й традиційному процесу приймання іспиту, тобто в залежності від відповіді на поставлені питання екзаменатор ухвалює зазначені вище рішення. При цьому він бере до уваги як фрагментарно розділені відповіді (оцінка за

кожне питання й висновок середнього), так і за певними логічними правилами весь ланцюжок відповідей суб'єкта тестування.

Загальним підходом у прийнятих методах, крім загальних правил для всіх завдань, є компонування завдань із різних частин (рисуноків, таблиць, мультимедійного контенту), обумовлених як стимули. Це дозволяє, заощаджувати ресурси по розміщенню стимулів і виділяти програму обробки відповідей, загальні правила в різних частинах логічної мережі, що розробляється.

Даний підхід не дозволяє в достатній степені індивідуалізувати тестові питання – насамперед, це пов'язане з тим, що кожне питання поєднує як безпосереднє завдання, так і рішення, що пов'язане з виконанням цього завдання з відповідями на додаткові питання.

3.2. Модифікований алгоритм адаптивного тестування

Враховуючи викладене, для забезпечення гнучкості в прийнятті рішень, простоти створення питань і логічних правил, що визначають прийняття рішень для конкретного питання, доцільним є об'єднання питання й процедури ухвалення рішення, пов'язаної з ним. Такий підхід спрощує як процедуру тестування, так і саму систему тестування з погляду задоволення вимогам мінімальної складності застосовуваних алгоритмів.

Прийняття загальних для всього процесу тестування рішень, вимагає загальних підходів в одному сеансі тестування. Ці підходи визначаються:

- застосуванням загального методу (або методів), що визначає той крок у процесі тестування, коли додаткова інформація про знання суб'єкта тестування буде надлишковою;

- процедурою початку роботи системи тестування (вибір першого питання) і стратегією переходу від одного питання до наступного;

- наданням докладних результатів тестування, як у природній, так і обробленої тими або іншими методами формі.

Це вимагає використання протоколу тестування й застосування:

- алгоритмів логічного операційного й статистичного аналізу результатів тестування з погляду надмірності або недостатності інформації;

- алгоритмів, що визначають рівень підготовки суб'єкта тестування;

- алгоритмів, що забезпечують стохастичні переходи по мережах тестових завдань.

Фактично, модель суб'єкта навчання в окремій сесії визначається:

- протоколом опитування;

- результатами оцінювання знань.

Таким чином, даний підхід формує парадигму тестування, що є природною для викладача, має аналог у класичним розумінні іспиту й визначається як модель

суб'єкта навчання. Слід відзначити, що безпосереднє використання представлення логічних мереж не забезпечує рішення поставленого завдання, тому що є цілий ряд обмежень логічного характеру, що визначають як перехід зі стану в стан, видалення станів, так і обмеження кількості переходів (тестування не може проводитися нескінченно й питання не повинні повторюватися).

Процедуру додаткових питань пропонується виконувати двома способами. Перший спосіб полягає в тому, що до закінчення множини додаткових питань одного основного (або єдиного питання) не здійснюється ніяких дій, крім фіксування відповідей на запитання з наступної передачі протоколу основному питанню, де ухвалюється одне з наступних рішень:

- зарахувати відповідь на основне питання як правильний з можливим коректуванням складності;
- вважати питання незадовільним і перейти до групи питань більш низького рівня;
- повторно поставити додаткове запитання із залученням, що залишилися додаткових питань;
- повторно поставити основне запитання без залучення додаткових питань.

Другий спосіб: функції прийняття рішень про правильності відповіді та/або перехід до інших основних, додаткових питань або про закінчення тестування передається додатковому питанню.

Останнє є загальною формою, тобто псевдо-інтерактивна процедура може бути зведена до маршової шляхом видалення логічного аналізу й прийняття рішень (логічний перехід у розумінні теорії логічних мереж).

Наявність логічного аналізу й ухвалення рішення в тестовому завданні моделює правило поведінки екзаменатора. Прийнятий ситуативний підхід на підставі правил для конкретного питання про поведінку (передача керування іншому питанню) у рамках окремо взятого завдання.

Додаткові питання можуть бути обрані з основних з будь-яким рівнем складності та/або створені окремо (для конкретного тесту). Як і основним питанням, їм повинен бути привласнений рівень складності. Таким чином, можна узагальнити питання у наборі тестових завдань як структуру (клас) даних і визначити його поведінку. Питання повинні мати:

- ознаку, що визначає зв'язки (такі питання, у які з нього можна перейти), обумовлені логічними висновками;
- ознаку, що визначає зв'язки (ті питання, у які з нього можна перейти звичайним для логічних мереж способом);
- ознака «останову» питання в логічних мережах, тобто випадок, коли питання вже було задано;
- ознака, що визначає чи є питання унікальним для даної мережі;
- ознака, що визначає яке або які наступні питання можуть бути викликані цим питанням, тобто яким питанням може бути передане керування.

Питання повинні забезпечувати наступні положення:

- забезпечити приймання керування від попереднього питання з одержанням поточного протоколу опитування;
- забезпечити видачу тестового завдання й варіантів відповідей до них;
- забезпечити початок відліку власного часу в момент видачі завдання;
- підтримувати логічну функцію, що визначає зниження рівня складності, у випадку виходу за межі часу, що допускається, встановленого для відповіді на дане питання та/або прийняти (за певних умов) для цього питання рішення про правильні/неправильні відповіді;
- передати протокол опитування наступному питанню і контролерові мережі питань;
- передати ознаки, що визначають стан питання контролерові мережі питань;
- перевірити роботу питання (передбачається передача керування контролерові мережі та/або наступному питанню).

На рис. 4 представлений фрагмент мережі питань (основне питання з додатковими).

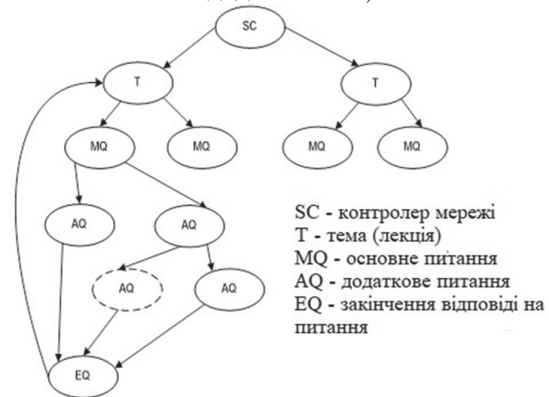


Рис. 4. Фрагмент мережі питань

3.3. Реалізація модифікованого алгоритму вибору тестових завдань

Використання логічних мереж на основі алгебри скінчених предикатів та предикатних операцій, припускає наявність моделі системи як абстракції, яка має сукупність станів $S=\{s_1, \dots, s_n\}$. Ці стани є взаємовиключними й перехід з одного стану в інший здійснюється різними для мережі шляхами, через появу події, що є в загальному випадку предикатом подій. Кожний стан системи s_i повинен мати як мінімум один вхід і один вихід, тобто так звані «глухі» або кінцеві стани відсутні. Фактично будь-який стан системи може бути обраний як початковий.

Однак на практиці вибір початкового стану визначається апріорною інформацією моделі суб'єкта навчання. Після ініціалізації деякого початкового стану робота моделі, побудованої в зазначених рамках алгебраїчної системи логічної мережі полягає в нескінченному обході мережі станів системи, у яких система перебуває впродовж деякого певного часу.

Останній метод виконує перевірку предикату чи сформувався множина такої ознаки, як складність питань для всієї групи суб'єктів навчання і одночасно чи сформувався множина предикатів розподілу відповідей залежно від їхньої складності для конкретного суб'єкта тестування. Також збільшення складності алгоритму тестування не призведе до істотного збільшення витрат ресурсів.

Висновки

Ідея адаптивного тестування, заснована на блоках питань, має безпосереднє відношення до одного із самих розповсюджених форматів багатоступінчастого тестування, при якому суб'єкт навчання проходить через послідовність тестів, рухаючись у бік більш складних питань при успішних відповідях або до більш простих, якщо його відповіді невірні. При цьому перехід від питання до питання відбувається за певними правилами. У більш ранній літературі обговорювалася паперова версія цього методу без статистичної обробки знань суб'єкта тестування після кожного тестового завдання, однак автоматизація у практиці тестування надає можливість статистичної оцінки знань на кожному кроці тестування.

Визначено ряд обмежень логічного характеру, що визначають як перехід зі стану в стан, видалення станів, так і обмеження кількості переходів (тестування не може проводитися нескінченно й питання не повинні повторюватися). Однак, при невеликій різниці між зазначеними передбачуваними й дійсними властивостями групи випробуваних застосування зазначеної методики дає позитивний ефект, із чого можна зробити висновок, що застосування запропонованого методу є ефективним для будь-яких обсягів і інших властивостей, що визначають тестування як процес.

Збільшення складності алгоритму тестування не призведе до яких або істотним витрат ресурсів ПК.

Очікуваний результат по використанню розроблених моделей стосовно до 3-х параметричної моделі тестування має бути досягнутий при апроксимації функції успіху, що припускає визначення уточнених значень дискримінаторів завдань шляхом рішення завдання оптимізації при використанні відомих алгоритмів. Це пов'язане насамперед з тим, що застосовані алгоритми оптимізації є універсальними, а рішення виниклої проблеми вимагає додаткового дослідження метою якого є часткове заміщення цих алгоритмів операційними методами, що використовують як властивість поставленого завдання тестування так і іншої апріорної інформації.

Різниця в рівнях складності основних і додаткових питань і запропонований зв'язок між основними питаннями і гілками додаткових питань дозволяє в процесі тестування як мінімізувати кількість необхідних відповідей суб'єкта навчання для визначення рівня його знань, так і суттєво поліпшити адаптаційні властивості тестування.

На підставі проведення тестів можна стверджувати, що створений прототип виконує всі функції, зазначені у вихідних даних на розробку й відповідає всім вимогам, що пред'явлені до нього.

Застосування методів побудови логічних мереж для реалізації етапу перевірки знань в системах адаптивного навчання є ефективним для будь-яких обсягів і інших властивостей, що визначають тестування як процес.

Список літератури:

- [1] Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Про теорію інтелекту // Проблеми біоніки // Х.: Вища школа, 1979. – Вип. 22. – с. 3–11.
- [2] Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Теорія інтелекту. Проблеми й перспективи // Х.: Вища школа, 1987. – 160 с.
- [3] Логічні мережі та їх використання для вирішення морфологічних завдань / І.Ю. Шубін, М.О. Пітюкова // Матеріали III Міжнародної конференції «Інноваційні технології в науці та освіті». м. Амстердам, Нідерланди, 2019. – С. 402-405
- [4] Алгебра предикатов и предикатных операций. / М.Ф. Бондаренко, З.В. Дударь, Н.Т. Процай, В.В. Черкашин, В.А. Чикина, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко // Радиоелектроника и информатика. – 2004.–№ 1. – С. 5-22
- [5] Learning management system // URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Learning_management_system (дата звернення: 26.04.2020).
- [6] Бейкер, Р. Educational data mining and learning analytics / Р. Бейкер, Г. Сіменс – The Cambridge handbook of the learning sciences, 2019. – 274 с.
- [7] Fourier J. Un modele d'indexation relationnel pour les graphes conceptuels fondee sur une interpretation logique: Phd thesis // Universitee. – Grenoble, 1998.- 302 p.
- [8] Климушев В.Б. Моделирование корреляционного алгоритму розпізнавання образів на базі формальної граматики // Автоматизовані системи керування й прилади автоматики. – 2001. – №115.– С. 54-74.
- [9] Brainlike computing / Shabanov-Kushnarenko Yu., Klimushev V., Lukashenko O. // Proceedings of the East-West Design and Test Workshop. Odessa, Ukraine, September 15 – 19, 2005, p. 274 - 279.
- [10] Бондаренко М.Ф., Осика А.Ф. Автоматична обробка інформації природною мовою. // Київ: УМК В, 1991. – 143 с.
- [11] Бондаренко М.Ф., Дудар З.В., Процай Н.Т., Черкашин В.В., Чикина В.А., Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Алгебра предикатів і предикатних операцій // Радиоелектроника й информатика. – 2004.–№ 1. – С. 5-22.
- [12] Четвериков Г.Г. Многозначные структуры (анализ, сравнение, синтез, обобщение) . ч.1. - К.: ИСМО, 1997. - 192.
- [13] Chetverikov G.G., Vechirska I.D., Tanyanskiy S.S. The methods of algebra finite predicates in the intellectual system of complex calculations of telecommunication companies // International Conference Proceedings Crimean Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo).-2014, 6959425. - pp. 346-347.
- [14] Chetverikov G., Puzik O., Vechirska I. Multiple-valued structures of intellectual systems // Proceedings of the with International Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). 2016, 7589907. -pp. 204-207.
- [15] A Guide to the SCRUM BODY OF KNOWLEDGE (SBOK™ GUIDE) URL: <https://www.scrumstudy.com/SBOK/SCRUMstudy-SBOK-Guide-3rd.pdf>.

Надійшла до редколегії 15.12.2020