

С.В. Бортновский, Л.В. Пустовалов, Е.В. Лариков

Использование метода фазовых портретов для диагностики уровня обученности

Дан анализ возможности изучать движение сложной обучающей системы, состоящей из двух участников – обучающей системы и обучаемого при помощи метода фазовых портретов. Результат анализа – построение фазовых портретов деятельности.

The analysis of the possibility of studying the complex system activity using the phase portrait method is analyzed. The result of the analysis is the building of the phase portraits of the activity.

Проведено аналіз можливості вивчати рух складної навчальної системи, що складається з двох учасників – навчальної системи та учня за допомогою метода фазових портретів. Результат аналізу – побудова фазових портретів діяльності.

Введение. Метод фазового портрета эффективно используется в различных областях науки для изучения описания состояний динамических систем (ДС), поскольку замкнутая кривая на фазовой плоскости – альтернатива аналитического интегрирования дифференциальных уравнений.

Незаменимость метода особенно проявляется в тех случаях, когда дифференциальные уравнения невозможно проинтегрировать и получить решение либо динамическая система настолько сложна и многомерна, что невозможно однозначно определить, учесть и записать аналитически дифференциальные уравнения системы. Вообще, многие ДС имеют огромное количество факторов и параметров, влияющих на её поведение, которые аналитически не определяются.

Компьютерную систему обучения и обучаемого можно рассматривать, как динамическую систему (или обучаемую систему ОС). Это, безусловно, достаточно сложная динамическая система, для которой невозможно указать число степеней свободы или координат, в пространстве которых определяется состояние системы. Однако возможность интегрированно описывать состояние ОС на основе целевой функции, несомненно, существует [1].

Типы поведения обучаемой системы

В кибернетическом подходе можно выделить три характерных типа поведения системы, три режима, в которых может находиться динамическая система: *равновесный*, *переходный* и *периодический*.

Равновесный режим ОС соответствует ситуации, когда ее состояние не изменяется во вре-

мени. В этом режиме у состояния не изменяется ни одна из ее «координат». В пространстве состояний системы ее равновесные состояния будут изображаться неподвижными точками.

При обучении какой-либо целенаправленной деятельности можно выделить равновесное состояние, соответствующее состоянию полной обученности этому виду деятельности. Для обучаемых в идеале должно быть одно равновесное состояние полной обученности, когда ученик решает проблемы или задачи в автономном режиме.

Однако бывают случаи, когда ОС имеют не одно равновесное состояние, а два и более. Это накладывает ограничения на достижение состояния полной обученности. Обучаемый в процессе движения по состояниям может попасть в промежуточное равновесное состояние, не соответствующее полной обученности. В этом случае он будет осуществлять деятельность с внешними ограничениями. Например, ему будет необходима дополнительная внешняя информация для осуществления деятельности.

Определение всех равновесных состояний обучаемой системы и их характеристик является существенной задачей для диагностики обучаемости, так как позволяет выявить причины, препятствующие достижению состояния полной обученности.

Переходный режим – режим движения системы из некоторого начального к какому-либо установившемуся состоянию – равновесному или периодическому. Исходя из обучаемой системы, периодический режим можно характеризовать как движение обучаемой системы по циклу в пространстве некоторых переменных.

Периодический режим характеризуется тем, что в системе возникают колебания внешней информации и энтропии деятельности. Причем эти колебания происходят со сдвигом фаз, аналогично колебаниям скорости и координаты в пружинном маятнике. Если продолжить аналогию, то скорость или кинетическая энергия соответствует внешней информации, а координата или потенциальная энергия – энтропии деятельности. При этом деятельность осуществляет не только ученик, но и та часть системы, которая управляет его деятельностью, именно она подает внешнюю информацию (роль этой системы выполняет учитель или компьютер).

Таким образом, обучаемая система – это обучаемый плюс управляющий внешний центр. Роль внешнего центра – подавать ученику в нужные моменты внешнюю информацию, управляющие воздействия. Если система переходит в состояние полной обученности данному виду деятельности, т.е. в равновесное состояние, то это будет означать, что управляющий внешний центр не будет вмешиваться в деятельность обучаемого и энтропия деятельности обучаемого как параметра равна нулю.

Вернемся к рассмотрению переходного режима. Последний возникает под влиянием изменения внешнего воздействия или изменения внутренних свойств систем. Например, обучаемый выполняет под управлением учителя или компьютера какую-либо учебную деятельность. Если управляющая система (учитель или компьютер) изменит управляющие воздействия, то возникнет переходный режим. Аналогично переходный режим может возникнуть при изменении внутренних свойств обучаемого. Например, повысилось внимание к выполняемым операциям или резко изменилась мотивация учебной деятельности.

Периодический режим может быть вынужденным и свободным. Тот периодический режим, о котором говорилось ранее, скорее, можно отнести к вынужденному, так как подача внешней информации управлялась извне. Свободные колебания в деятельности возникают, когда нет никаких внешних воздействий и нет «диссипации» информации.

Эффективное изучение поведения динамической системы возможно не в любом пространстве ее состояний. При неудачном выборе координат включаемых в пространство состояний (фазовом пространстве) движение системы может оказаться непредсказуемым. При этом следует учитывать, что траектории системы в фазовом пространстве не пересекаются, т.е. движение системы изображается непересекающимися траекториями.

Семейство фазовых траекторий, изображающих движение системы, называется ее *фазовым портретом*. Фазовое пространство любой динамической системы плотно заполнено фазовыми траекториями, т.е. через каждую точку этого пространства проходит траектория.

Изменяя внешнее воздействие на систему, можно существенно изменять ее фазовый портрет. Число измерений фазового пространства системы называется *порядком* системы. Для обучаемой системы (типа ученика) в настоящий момент невозможно указать число степеней свободы или координат, в пространстве которых определяется состояние системы. Однако возможность описывать состояние системы в спроецированном пространстве, несомненно, существует.

Фазовые портреты деятельности

Исходя из экспериментальных данных, координаты δ доля правильных действий и $d\delta/dt$ скорость изменения доли правильных действий интегрированно описывают состояния обучающейся системы.

Фазовые портреты динамических обучаемых систем строятся диагностическим программным модулем на основе экспериментальных данных (файлов-протоколов), полученных при динамическом компьютерном тестировании.

Рассмотрим плоскость фазового пространства состояний обучаемого [2], которая образуется долей правильных действий δ и скоростью изменения этой доли $d\delta/dt$. Фазовое пространство состояний обучаемого в предложенной системе координат δ и $d\delta/dt$ соответствует следующим условиям: $1 > \delta > 0$; $d\delta/dt \in (-\infty; \infty)$.

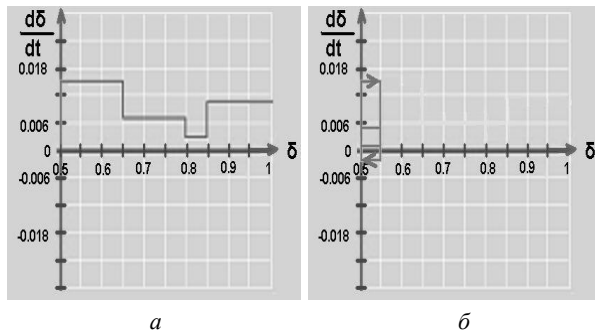


Рис. 1. Проекция фазовых портретов активной системы на плоскость $(\delta, d\delta/dt)$: *a* – доля правильных действий (горизонтальная ось) с положительной скоростью $d\delta/dt$ (вертикальная ось) возрастает до единицы; *b* – доля правильных действий совершает колебания в среднем от 0,5 до 0,55. Начало координат находится в точке $\delta = 0,5; d\delta/dt = 0$

На рис. 1 приведены экспериментальные фазовые портреты, полученные при обработке данных компьютерного динамического тестирования процесса обучения решению задач по конструированию графиков функций [2]. На рисунке показано, что обучаемый, (см. рис. 1, *a*) в процессе обучения переходит в устойчивое равновесное состояние полной обученности (траектория стремится к фокусу, точке $\delta = 1$ и $d\delta/dt = 0$). В этом состоянии деятельность по выполнению заданий строго упорядочена (обучаемый осознал алгоритм решения задачи).

Фазовый портрет ОС на рис. 1, *b* находится в квазипериодическом режиме. Обучаемый настроен на внешнюю помощь. Стоит обучающей системе перевести его на более высокий уровень достижения и соответственно уменьшить частоту помощи, как он начинает совершать неправильные действия. Доля правильных действий уменьшается, и обучающая система переводит обучаемого в состояние на уровень ниже. Далее все повторяется до тех пор, пока он не уяснит алгоритм решения задачи. В данном примере наблюдается явление недостаточной специфической обучаемости (НСО) [3].

В педагогической и психологической диагностике на явление недостаточной специфической обучаемости обратили внимание в 70-х годах. В это же время начались интенсивные разработки программ диагностики и коррекции НСО. Педагоги все больше стали осознавать широкую распространенность этого препятствия для обучения среди школьников, сту-

дентов и взрослых. Хотя, следует помнить, что при отнесении тех или иных лиц к указанной категории с НСО возможны ошибки.

Диагноз НСО следует применять только к детям, которые:

- обнаруживают «резкое несоответствие» интеллектуальной способности достигнутому уровню навыков коммуникации и математических действий;
- не могут овладеть ими на уровне, соответствующем их возрасту и интеллектуальной способности даже при обеспечении должного обучения.

Обычно дети с НСО демонстрируют нормальный интеллект, нередко даже превышающий средний уровень, в сочетании с выраженными трудностями в овладении одним или несколькими основными школьными навыками (наиболее часто – чтением). Следует заметить, что НСО может встречаться на любом интеллектуальном уровне, даже если дети с задержкой психического развития не подходят под юридическое определение НСО.

Дети с НСО проявляют различные поведенческие симптомокомплексы. Главными из них являются трудности в восприятии и кодировании информации, недостаточная интеграция входных сигналов разной модальности и нарушение сенсомоторной координации. Для таких детей типичны нарушение языкового развития, ограниченность памяти, произвольного внимания и навыков отвлеченного мышления. В частности, агрессия, а также другие эмоциональные и мотивационные проблемы, могут вполне развиваться как ответ на неудачи ребенка в учении и фрустрации, вызванные его недостаточной специфической обучаемостью. Многие специфические трудности, нормальные для раннего возраста, становятся признаками дисфункции, если сохраняются в старшем возрасте. Поэтому существует потребность в системе координат возрастного развития, хотя бы с качественными, если уж не с количественными нормативами.

Несмотря на наличие огромного количества тестов, используемых для реализации современных принципов оценки НСО, многие исследо-

ватели неоднократно заявляли о потребности в новом, более информативном подходе к диагностике и оцениванию таких детей. Чаще всего для диагностики недостаточной специфической обучаемости используют методику *динамической оценки*.

Термин «динамическая оценка» охватывает множество разнообразных методик, предполагающих намеренное отступление от стандартизованного или единого для всех тестов для получения дополнительных качественных данных об индивидууме. Несмотря на то, что пользовались такими методиками и раньше, популярность этого подхода начала расти с 1970-х гг. Он служил способом получения дополнительных качественных данных об индивидууме, причем не только в случаях с НСО, но и при работе с другими детьми, испытывавшими трудности в обучении, например, вследствие слабой или умеренной психической задержки. Была также в предварительном порядке проверена полезность этого подхода для оценки одаренности детей, особенно растущих в экономических неблагоприятных условиях.

Одна из первых таких качественных адаптаций процедуры тестирования получила название *тестирование пределов*. При этой процедуре тестируемому могут предоставляться дополнительные сведения или подсказки. И чем их больше требуется для удовлетворительного выполнения задания, тем больше выражена НСО.

Несколько позднее был разработан подход, названный *оценкой потенциала обучения*. Термин *потенциал* в этом названии может быть отнесен к необоснованному предположению, будто исследуемая способность существовала всегда и ее нужно только «раскрыть». Однако на самом деле эти процедуры имеют структуру типа «тест – обучение – тест» и заключаются в обучении учащегося различным средствам выполнения задания, с которым он первоначально не смог справиться. Внешне эта процедура напоминает способ, используемый в некоторых прогностических образовательных тестах, где испытуемому дают выборочную задачу, требующую такого рода научения, с которым им предстоит столкнуться в конкретном учеб-

ном курсе. Тем не менее, процедура оценки потенциала обучения отличается от методики проведения прогностических тестов, по крайней мере, в двух случаях:

- обследуемому ученику дают указания или индивидуальные советы;
- используемые задания обычно требуют более широких учебных умений и навыков решения задач.

Методика динамической оценки, начало которой было положено Фейерстейном и другими учеными, открывают ряд перспектив. Связывая оценку и обучение, они стимулируют исследования пределов изменчивости академической способности и содействуют разработке программ оптимальной коррекции. К тому же они дают в руки квалифицированного клинициста средство оценки, позволяющее получать более ясные описания когнитивной деятельности и ее чувствительности к корректирующим вмешательствам, чем стандартизованные тесты интеллекта [4].

С учетом фазового портрета обучаемого, состояние НСО соответствует *устойчивым* предельным циклам. Понятие *устойчивость* применимо не только для оценки устойчивости равновесного состояния системы, но и для оценки характера движения системы.

Устойчивость характеризует одну из важнейших черт поведения системы. Можно быть уверенным, что это относится и к обучающимся системам. Понятие устойчивости применяется для описания постоянства какой-либо черты поведения системы, понимаемого в широком смысле. Это может быть постоянство состояния системы (его неизменность во времени) или постоянство некоторой последовательности состояний, пробегаемых системой в процессе ее движения, и др.

Точное и строгое определение понятия устойчивости применительно к состоянию равновесия динамической системы было дано выдающимся русским ученым А. Ляпуновым. Пусть неподвижная точка *A* изображает в фазовом пространстве системы ее равновесное состояние. Это состояние будет устойчивым, по Ляпунову, если для любой заданной области

допустимых отклонений z от состояния равновесия можно указать такую область b (включающую состояние равновесия), что траектория любого движения, начавшегося в области b , никогда не достигнет границы области z .

Любая система находится под влиянием внутренних и внешних возмущающих воздействий. Сколько малы ни были бы воздействия, они всегда будут вызывать флуктуации состояния системы, в результате чего изображающая точка будет блуждать около своего среднего положения в некоторой области. Она рано или поздно пересечет границу любой наперед заданной области. Это будет означать, что система не обладает устойчивым равновесным состоянием.

Обучаемый как динамическая система обладающая разумом, имеет единственное устойчивое равновесное состояние, которое характеризуется полной обученностью выполнения деятельности по решению задач. Это состояние соответствует автономной стадии в решении проблем, которая отвечает сформировавшейся компетентности у обучаемого.

Обучаемый, деятельность которого, в фазовом пространстве задач характеризуется устойчивым предельным циклом (см. рис. 1,б), страдает недостаточной специфической обучаемостью [1].

Заключение. По экспериментальным данным динамического компьютерного теста-тренажера была построена гистограмма динамических порогов (обычно динамический порог определяется клиническим методом). Протестировано 319 учащихся девятых классов школ № 15 и № 99 г. Красноярска и Мининской средней школы Емельяновского района (рис. 2).

На гистограмме динамических порогов ось Y (P_j на гистограмме) – доля $\Delta N/N$ учащихся, имеющих уровень I ($N = 319$), а ось X (уровень на гистограмме) – уровень самостоятельности, достигнутый при выполнении заданий.

Первым порогом обладают примерно 28% обучаемых, кто так и не смог решать задачи без подсказок (каждое действие, выполненное обучаемым, имело информационную помощь) и полностью не понимают алгоритм решения задач.

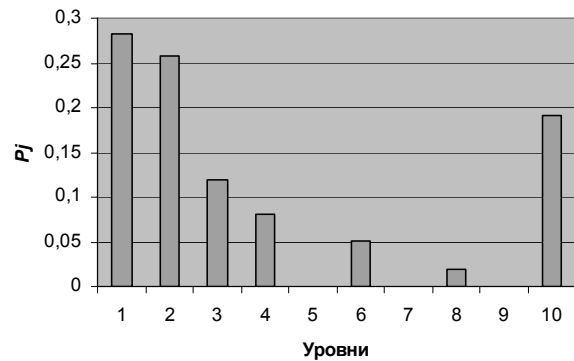


Рис. 2. Гистограмма динамических порогов

26% обучаемых имеют второй порог – они успешно выполняют задания, только тогда, когда вариативно (случайным образом) в среднем на два действия оказывается помощь. Как только частота помощи уменьшается, обучаемый начинает действовать неправильно.

Примерно 21% обучаемых имеют 7–10 порог. Это успешные ребята. Они, практически не имея подсказок (10 уровень – одна случайная подсказка в среднем на 100 действий), правильно выполняют задания. Алгоритм решения задач сформирован. Что касается ребят, находящихся ниже 7 уровня (их 79%), все они имеют диагноз НСО.

Экспериментальные данные динамического компьютерного тестирования и построенная гистограмма динамических порогов показывают, что из 319 обучаемых 79% – с недостаточной специфической обучаемостью.

1. Бортновский С.В. Фазовый портрет активной системы, как метод компьютерной диагностики процесса обучения // Науч.-метод. конф. «Новые информационные технологии в университетском образовании». Новосибирск. ИЭПМСО РАО, 2007.
2. Дьячук П.П., Бортновский С.В. Динамическое тестирование процесса обучения // VII Всерос. сем. «Моделирование неравновесных систем», Красноярск, ИВМ СО РАН, 2004.
3. Дьячук П.П., Бортновский С.В. Компьютерная диагностика недостаточной специфической обучаемости по математике // Всерос. науч.-практ. конф. «Современные проблемы преподавания математики и информатики», Тула, 2004.
4. Анастаси А., Урбина С. Психологическое тестирование. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.

E-mail: bsv@imfi.kspu.ru, rainbird@inbox.ru

© С.В. Бортновский, Л.В. Пустовалов, Е.В. Лариков, 2010