



УДК 65.012 (075.8)
ГРНТИ 28.19.23

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИВНО- ОБУЧАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ

*А.Н. ВНУКОВ, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Ю.В. НЕКРАСОВ, кандидат технических наук, доцент
Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I
Р.С. СУМИНА, кандидат технических наук, доцент
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В статье рассматриваются некоторые аспекты разработки системы управления качеством обучения, обеспечивающей достижение оптимального (в некотором смысле) состояния объекта управления на основе комплексной оценки изменения его состояния во времени. Основное внимание уделено анализу изменения состояния объекта управления в условиях стохастической неопределенности начальных условий в режиме отложенного времени.

Ключевые слова: управление; системы обучения; адаптивные системы; алгоритм обучения.

SOME ASPECTS OF THE ORGANIZATION AND USE OF ADAPTIVE EDUCATIONAL TECHNOLOGIES

*A.N. VNYKOV, Candidate of Technical Sciences
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
U.V. NEKRASOV, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Voronezh state agrarian University named after Emperor Peter I
R.S. SUMINA, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

The article discusses some aspects of the development of the quality management training system ensuring optimum (in some sense) state of the control object on the basis of a comprehensive assessment of its status changes through time. The focus is on the analysis of changes in the object state management in conditions of stochastic uncertainty of the initial conditions in the mode of time delay.

Keywords: management; training systems; adaptive systems; learning algorithm.

Введение. Современное состояние обучения военных специалистов технического профиля на данный момент объективно характеризуется несоответствием между общественно необходимым и фактическим уровнем подготовки. Увеличение насыщенности получаемой базовой информации, увеличивающийся темп обучения, вызванный динамикой развития общества, снижение престижности образования, изменение жизненных интересов – являются некоторыми из причин, негативно влияющих на качество обучения. В условиях военных высших учебных заведений, при недопустимости снижения уровня обучения, возрастает роль управления процессом обучения, совершенствование которого невозможно без изменения технологии управления качеством обучения. В современных условиях развития отечественной



науки существуют различные подходы к осуществлению управленческой деятельности, которые различаются между собой концептуально и базируются на достижениях, в том числе, и мировой науки. Проблема построения оптимальных и адаптивных систем – является одной из наиболее важных в теории управления и смежных областях. Это обусловлено двумя обстоятельствами: сложностью решения проблемы в целом и наличием большого числа технически разнообразных ситуаций, нуждающихся в адаптации и оптимизации [1].

Актуальность. Особое значение управление качеством обучения приобретает при подготовке персонала, обслуживающего потенциально опасные объекты, например, военные объекты, предприятия химической промышленности и т. п. В этих случаях, как правило, объем информации, подлежащий усвоению, заранее определен и рассматривается как дискретное управляющее воздействие, распределенное во времени (линейный алгоритм). Учебные задания рассчитаны на самого «слабого» обучаемого и настолько минимальны, что процесс обучения протекает почти безошибочно. Ошибочные ответы (решения) считаются недопустимыми. В процессе обучения все обучаемые проходят одну и ту же, заранее определенную автором, последовательность порций учебной информации. Причем эта последовательность не зависит от действий обучаемого во время самого хода обучения. Таким образом, в линейных программах адаптация к обучаемому достигается лишь за счет различного времени, требуемого для усвоения. Вместе с тем важно организовать процесс управления качеством обучения таким образом, чтобы иметь гарантию того, что по результатам обучения целевое квалификационное состояние объекта управления (обучаемого), соответствующее требуемому уровню усвоения информации будет удовлетворять заданным критериям качества.

Известно, что создание адаптивных систем обучения связано с подходом к процессу обучения, как к процессу управления, в котором обучаемый является объектом управления, а адаптивная системы обучения – источником управления. Значительный вклад в разработку адаптивных систем обучения внесли Г. Паск, Carbonell J.R., А.М. Довгялло, Л.А. Растринин и другие исследователи. Адаптивный процесс управления обучением рассматривается как процесс принятия решений, в котором выбор пути продолжения обучения существенно зависит от предыстории обучения. Причем выбор одного из путей продолжения обучения не определяется до конца обучающей программы, задается лишь направление движения на очередной шаг. На следующем шаге процесс принятия решения повторяется с учетом новой информации.

Существует несколько подходов к разработке алгоритма принятия решений. Например, выделяются три принципа управления:

1. Стабилизация (в этом случае поддерживается постоянное значение некоторого показателя процесса обучения);
2. Программное управление (величина некоторого показателя процесса изменяется по заданному закону);
3. Оптимизация некоторого показателя процесса обучения (автоматически устанавливается значение этого показателя, оптимальное с точки зрения того или иного критерия эффективности обучения).

Следует отметить, что для создания эффективной системы управления сложным социальным объектом необходимы: выявление и учет факторов, влияющих на процесс управления; разработка моделей и алгоритмов, учитывающих особенности поведения сложных социальных объектов; поиск новых подходов к прогнозированию отдельных параметров функционирования процесса, учитывающих отсутствие априорных сведений об объекте управления и специфические особенности объекта, к которым, в



частности, относится стохастичное задание начального состояния. Так как построение точной модели сложного объекта практически невозможно, необходимо построить приближенную модель и адаптировать ее параметры для обеспечения ее адекватности реальному объекту (обучаемому).

Таким образом одной из основных проблем применения теории и методов управления в социальной сфере являются особенности человека как объекта управления.

1. Стохастичность: тенденция человека вести себя неожиданным образом, обусловленная влиянием ряда психологических факторов.

2. Нелинейность: в некоторых задачах поведение объекта может являться линейным, в то же время большое число данных показывает, что в большинстве задач поведение объекта нелинейно.

3. Зависимость от времени: зависимость характеристик объекта управления от времени, которая проявляется в том, что: во-первых, его характеристики изменяются со временем по той причине, что человек обучается; во-вторых, он может реагировать на изменение параметров окружающей среды и соответственно изменять свои характеристики.

4. Детерминированность на малом промежутке времени: вообще говоря, человек является недетерминистской системой, поскольку его характеристики изменяются от опыта к опыту. Однако его изменчивость мала в ситуациях, когда время обучения достаточно и когда решаются одноуровневые задачи.

Второй проблемой являются неожиданное «антиинтуитивное» поведение объекта управления, нестационарность оператора объекта и, как следствие, практическая невозможность описания (в том числе алгоритмического) данного оператора. В то же время для целей управления оно совершенно необходимо.

Третья проблема – неопределенности, которые неизбежно содержит человек как объект управления. Как отмечается в работах Евтушенко Ю.Г. «нет универсальных методов решения, поскольку сами неопределенности являются непредсказуемыми и уникальными, как и сама нелинейная система» [2].

Первой и, пожалуй, основной особенностью является уже отмеченная невозможность получения адекватной модели объекта. Соответственно, при управлении следует учитывать, что модель объекта всегда характеризует состояние объекта в отдельные моменты времени с некоторой погрешностью. Кроме того, в большинстве случаев оператор объекта вообще неизвестен в явном виде, что делает невозможным постановку классической задачи оптимального управления. В связи с этим возникает потребность использования таких методов управления, которые не требуют наличия оператора объекта в явном виде, т. е. на основе анализа поведения вектора решений позволяют определять параметры функционирования системы управления без обращения к свойствам реального объекта.

При построении алгоритма управления социальными объектами по измеряемым значениям временных рядов квалификационных состояний обучаемого (объекта управления) требуется определить условия возникновения хаотического поведения, которое нелинейная динамическая система обнаруживает при некоторых значениях параметров и которое характеризуется в фазовом пространстве областью, называемой странным аттрактором. Для управления сложной системой важно, оценить размеры области странных аттракторов и тем самым оценить допустимую область управляемости.

Рассмотрим систему, состоящую из управляемого объекта и управляющего устройства, обладающую следующими специфическими особенностями, которые появляются, если в качестве объекта управления выступает человек или группа людей.



К характерным признакам сложности объекта относятся:

1. Отсутствие описания (в том числе алгоритмического) оператора объекта F^* . В то же время для целей управления сложным объектом оно необходимо.

2. Неожиданное, антиинтуитивное поведение объекта. Это поведение моделируется и объясняется с помощью введения фактора стохастичности.

3. Нестационарность (изменчивость во времени) оператора F^* .

Особенности управления, вызванные спецификой поставленной задачи обучения [3]:

1. Управление заранее задано и фиксировано, т. е. функция $U(t)$ задана заранее в дискретном виде $U = (U_1, U_2, \dots, U_n)$.

2. Нет обратной связи, т. е. значение управлений $\{U_i\}$ выдаются в реальном времени, но независимо от состояния объекта $\{Y_i\}$.

3. Управление производится в режиме отложенного времени, т.е. есть возможность повторения U_i .

4. Стохастичность как в задании начальных условий, так при изменении состояния объекта Y_i под влиянием управления U_i , обусловленная специфическими характеристиками объекта управления.

Выделенные особенности управления объектом позволяют обеспечить управляемость и достижимость за счет выбора способа управления (алгоритма управления).

Действительно, в нашем случае управление заранее определено и фиксировано, а это значит, что нам нужно добиться управляемости объекта не за счет подбора управления, а на основе уже заранее определенного $U(t)$. Это становится возможным, если система управления функционирует в режиме, так называемого отложенного времени (*off-line*). В этом случае у нас есть возможность повторять управляющее воздействие и за счет повтора обеспечить попадание из состояния Y_i в желаемое состояние Y_{i+1} или некоторую его окрестность (рис 1).

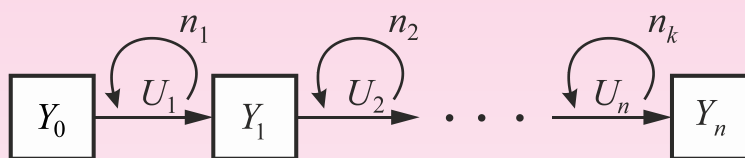


Рисунок 1 Схема изменения состояния объекта управления с фиксированным управляющим воздействием в режиме отложенного времени

При функционировании алгоритма управления следует учитывать временные ограничения, так как контур управления не может функционировать бесконечно. Нелинейность модели объекта позволяет предположить, что решение после конечного числа итераций попадет в некоторую область пространства состояний (аттрактор), из которой уже не выйдет. Если эта область удовлетворяет введенному критерию качества управления, то нам нужно только определить n_k – число повторов управления на k -м шаге, которые обеспечат достижимость текущего состояния Y_k из исходного состояния Y_{k-1} .

Рассмотрим процесс управления на одном шаге алгоритма управления. На вход объекта управления поступают вектор управляющих воздействий U . X – состояние среды, влияющей на процесс управления. Из состояния среды, частью которой является и объект управления, мы выделяем составляющие, определяющие начальное состояние объекта в виде



$$y_i^0 = \overline{y_i^0} + \delta_{\text{экс}i}, i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где $\delta_{\text{экс}i}$ – ошибка измерения i -го параметра вектора состояний Y_0 .

Вероятности, с которыми мы выбираем начальные данные, задаются некоторым распределением $\rho_{\delta_{\text{экс}}}(0, Y_0)$, $\|Y_0\| < \delta_{\text{экс}}$. При этом нас будет интересовать случай, когда $\rho_{\delta_{\text{экс}}}$ сходятся к некоторому пределу ρ , в том смысле, что

$$\rho(t, y) = \lim_{\delta_{\text{экс}} \rightarrow 0} \left(\lim_{t \rightarrow \infty} \rho_{\delta_{\text{экс}}}(t, Y_0) \right) \quad (2)$$

будем рассматривать как естественное распределение вероятностей, отвечающее изменению состояния объекта.

Далее с помощью некоторого преобразования F мы получаем новые значения вектора состояний Y :

$$Y = F(X, U), \quad (3)$$

где оператор модели объекта F определяется $F = (S, P)$, с точностью до некоторых параметров P . Как уже отмечалось выше, в силу сложности объекта управления структура S оператора F не всегда отвечает оператору объекта F^* . Поэтому наша задача состоит в такой организации алгоритма управления, чтобы, учитывая специфику объекта обеспечить достижение поставленных целей управления.

На выходе объекта измерительная система позволяет измерять доступные (измеримые) характеристики состояния объекта управления (иногда и сами переменные состояния оказываются измеримыми).

По полученным результатам вычисляем значение критерия качества управления Q :

$$Q = \sum_{l=1}^k \beta_l \eta_l(Y', F(Y', U)), \quad (4)$$

где $\beta_l > 0$ – вес l -й цели, Y' – измерение состояния объекта.

Если полученные значения доставляют экстремум критерию качества, то переходим на следующий шаг алгоритма управления, иначе на этом шаге повторяем управляющее воздействие до достижения необходимых результатов.

Выберем в качестве фазового пространства пространство состояний объекта управления Ω . Соответствующую группу преобразований запишем в следующем виде:

$$S_t Y(0) = Y(t), \quad (5)$$

где $Y(0) = (y_1(t_0), y_2(t_0), \dots, y_n(t_0))$ – начальное состояние, а $Y(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t))$ – решение (5) в момент времени t .

Стохастичность, присущая поведению объекта управления, в силу задания начальных условий, позволяет применить теорию фрактальной размерности для исследования функционирования алгоритма управления.



Нас будет интересовать число повторов алгоритма на каждом шаге, т. е. через какое количество измерений наше решение $Y(t)$, определяемое группой преобразований $\{S_i\}$, попадет в некоторую область, из которой уже не выйдет при дальнейшей эволюции системы во времени. Если эта область совпадет с областью $\Omega^* \subset \Omega: Y \in \Omega^*(Y)$ – выполнение целевых требований, то мы получим оптимальное состояние объекта управления при заданном управляющем воздействии и сможем перейти к следующему шагу алгоритма управления.

Рассмотрим объект управления как некоторую динамическую систему. В пространстве нелинейность динамической системы позволяет предполагать наличие у нее аттрактора, инвариантного притягивающего множества. При этом во многих случаях аттрактор является глобальным, и движение такой динамической системы состоит из двух режимов: 1) движение к аттрактору; 2) движение на аттракторе. По сценарию Рюэля-Такенса, динамическая стохастичность в нелинейной системе может развиться после конечной последовательности измерений, которые обеспечивают наступление хаотического режима. А само количество измерений, обеспечивающих движение к аттрактору можно определить на основе первой и второй теорем Такенса для дискретного и непрерывного времени [4].

Благодаря первому режиму движения система «приходит на аттрактор» и из этого множества уже не уходит. Наиболее сложным из двух режимов является движение на аттракторе. Проблема состоит в том, чтобы определить размерность (емкость) аттрактора и тем самым оценить возможное число степеней свободы данной системы, если она уже попала на аттрактор, так как найденная размерность аттрактора позволяет вычислить размерность фазового пространства динамической системы, которая моделирует процессы, происходящие в первоначальной системе и тем самым оценить параметры исходной системы. Для определения корреляционной размерности аттрактора используется следующая формула

$$d_2 = \lim_{l \rightarrow 0} \frac{\ln C(l)}{\ln l}, \quad (6)$$

где

$$C(l) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i, j=1}^N \Theta(l - |y(i\tau) - y(j\tau)|). \quad (7)$$

Если для объекта выполняются следующие условия: 1. Объект можно описать моделью, порождающей динамическую систему; 2. Эта модель объекта имеет глобальный аттрактор; 3. Система, моделирующая объект изменяется на аттракторе, то для определения фрактальной размерности можно использовать временные ряды наблюдений, которые рассматриваются как реализация фазовой переменной некоторой динамической системы. Причем явный вид этой системы может быть и неизвестен, главное иметь уверенность, что измеряемые величины представляют временную реализацию для данной системы.

Для вычисления корреляционной размерности воспользуемся вычислительным алгоритмом, предложенном в [4], и заключающимся в том, что в качестве временного ряда используем последовательность значений критерия $Q: Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_N)$, так как эти значения наиболее полно характеризуют изменение состояния объекта управления с точки зрения достижения цели, изменяющееся с течением времени под воздействием управления U . Значения получены следующим образом. На вход объекта подадим управляющее воздействие U , далее через некоторый интервал времени Δt будем



измерять состояние объекта управления и вычислять требуемое значение Q_i , $i = \overline{1, N}$. В общем случае интервалы времени не обязательно должны быть равномерными. По полученным значениям, используя описанные процедуры, строим последовательности векторов $x_1 = \{Q_1, Q_2\}$; $x_2 = \{Q_2, Q_3\}$, ..., $x_k = \{Q_k, Q_{k+1}\}$, ..., $x_{M_2} = \{Q_{M_2}, Q_{M_2+1}\}$ и по формулам (6)-(7) определяется корреляционную размерность каждого полученного векторного пространства. Вычисления выполняются при различных растущих m до тех пор, пока эта величина не стабилизируется при некотором $m = m^*$. В формулах (6) и (7) вычисления проводятся при достаточно больших N и малых ε . Значения N и ε определяется экспериментально.

Далее, используя теоремы Такенса, находим размерность пространства вложения и тем самым оцениваем количество повторов цикла алгоритма управления необходимое для достижения объектом цели управления.

Выводы. Таким образом, исследование динамики состояния класса объектов с начальной неопределенностью, позволяет обосновать возникновение в пространстве состояний странного аттрактора и использовать методы качественной теории нелинейных систем для разработки алгоритма управления качеством обучения и метода оценки количества управляющих воздействий необходимых для достижения заданной целевой области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куропаткин П.В. Оптимальные и адаптивные системы. М.: Высшая школа, 1980. 224 с.
2. Евтушенко Е.Г. Методы решения экстремальных задач и их применение в системах оптимизации. М.: Наука, 1982. 489 с.
3. Матвеев М.Г., Сумина Р.С. Анализ некоторых систем управления социальными объектами с помощью метода фрактальной размерности // Системы управления и информационные технологии. № 4 (16). 2004. С.77–80.
4. О вычислении размерностей аттракторов по экспериментальным данным. Новосибирск: Препринт СО АН СССР, 1985. № 280. 112 с.

BIBLIOGRAPHY

1. Kuropatkin P.V. Optimal and adaptive systems. M.: High School, 1980. 224 p.
2. Evtushenko E.G. Methods of solving extremal problems and their application in systems optimization. M.: Science, 1982. 489 p.
3. Matveev M.G., Sumina R.S. The analysis of some systems of management of social objects using the method of fractal dimension // Control Systems and Information Technology. No. 4 (16). 2004. P. 77–80.
4. About calculation of dimension of attractors from experimental data. Novosibirsk: Preprint SB of the USSR Academy of Sciences, 1985. No. 280. 112 p.

© Внуков А.Н., Некрасов Ю.В., Сумина Р.С.

Внуков Алексей Николаевич, кандидат технических наук, начальник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А. vaiu@mil.ru



Некрасов Юрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры экономического анализа, статистики и прикладной математики Воронежского ГАУ, проректор по информатизации, международным связям и управлению качеством, Россия, г. Воронеж, ул. Мичурина 1, <http://www.vsau.ru>

Сумина Рита Семеновна, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А. vaiu@mil.ru