

УДК 681.325.5

МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА И СПОСОБ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОШИБОК ОПЕРАТОРА В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ

Д. А. Горбунов,

аспирант

В. Я. Мамаев,

доцент

К. К. Петров,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения (ГУАП)

Построена структурная модель учебного материала, обладающая свойством полной выводимости целевого знания. Предложен способ диагностирования ошибок оператора, основанный на анализе характеристик целевого знания эталонной и фактической структурных моделей предметной области. Рассмотрен пример диагностирования возможных ошибок оператора-навигатора при решении одной из задач воздушной навигации.

The structural model of a teaching material is constructed, which one has property of full deducibility of target knowledge. The way of diagnosing of errors of the operator-navigator is offered, which one is based on the analysis of characteristics of target knowledge of reference and actual structural models of data domain. The example of diagnosing of possible errors of the operator-navigator is considered at the solution of one of problems of air navigating.

Структурная модель учебного материала

Построим структурную модель учебного материала (УМ). Для этого введем в рассмотрение конечное множество $M = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_i, \dots, \mu_n)$, где μ_i — обучающий блок (ОБ), который соответствует порции УМ и порции отношений на M , являющихся отображениями вида:

1) $\mu = S(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_i, \dots, \mu_n)$ — отношение непосредственной связности по информации или выводимости блока μ из блоков $(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_i, \dots, \mu_n)$;

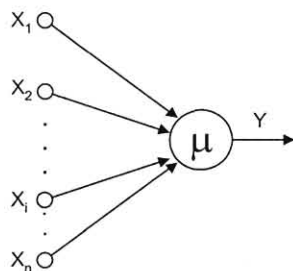
2) $\mu = \delta(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_i, \dots, \mu_n)$ — отношение детализации знания μ , которое состоит из значений $M = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_i, \dots, \mu_n)$.

Тогда структурной моделью УМ назовем тройку M, S, δ , где M — множество учебных блоков; S — отно-

шение информационной связности; δ — отношение детализации. Отношения информационной связности ОБ таковы, что знания имеют свои источники (μ_0), промежуточные или выводимые знания (μ_S) и конечные, т. е. целевые (μ_K) знания.

Обучающие μ -блоки можно связать в сеть знаний следующим образом. Каждой вершине сети сопоставляется единственный μ -блок, а каждой ее дуге соотносится маркер, который является кодом описания соответствующего значения (формулы), заключенного в учебный блок. Далее маркеры (метки) будем обозначать большими буквами латинского алфавита.

Исходя из того, что μ -блок определяет отображение (преобразование одного множества X в другое множество Y), введем понятие формулы вывода.



■ Рис. 1. Логический блок обучения с формулой вывода (1)

Формулой вывода назовем выражение

$$\mu(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n) \rightarrow Y, \quad (1)$$

где $(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n)$ — поставляемые в μ -блок исходные значения; Y — целевые (выходные) знания, полученные в результате процедуры обучения (вывода); « \rightarrow » обозначает некоммутативную операцию «следует».

Каждый μ -блок должен иметь единственный выход, т. е. все исходящие из μ -блока дуги должны иметь одинаковый маркер. Формула (1) читается так: знание Y является следствием процесса научения из знаний $X_1 \& X_2 \& \dots \& X_i \& \dots \& X_n$. Графически это представлено на рис. 1.

Граф на рис. 1 показывает, из каких составляющих и как складывается целевое знание. Для его построения необходимо выполнить следующие процедуры:

1) выделить множества $M = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k\}$ возможных порций обучения, имеющих законченный смысловой характер;

2) сгруппировать знания для каждого μ -блока в виде логических формул вывода $\mu(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n) \rightarrow Y$, где Y — результирующее значение, выведенное из составляющих знаний $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n$;

3) связать μ -блоки в обучающие кластеры при помощи подстановок знаний в формулы вывода.

Обучающим кластером назовем направленный граф $G \langle X, M, Y \rangle$, вершины которого размечены μ -блоками, дуги Y — маркером знаний, каждой вершине соотнесена формула вывода, и каждая вершина (μ -блок) кластера выводима из начальных знаний либо является начальным знанием μ_0 [3].

Отсюда следует свойство полной выводимости целевого знания, что является необходимым условием. При отсутствии полной выводимости невозможно построить процессы контроля знаний и управления обучением.

Таким образом, в качестве модели предметной области будем рассматривать граф $G = \langle X, M, Y \rangle$, объектные вершины которого $M = \|\mu_{ij}\|_{n \times n}$ есть фрагменты обучения. В конкретных случаях ими могут быть параграфы теоретического материала, диалоговые структуры, задачи или их фрагменты и т. д.

Способ диагностирования ошибок оператора

Предлагаемая процедура диагностики ошибок обучаемого оператора заключается в анализе характеристик целевого знания Y эталонной и фактической структурных моделей умения (ЭМ, ФМ), проводимых электронным инструктором (ЭИ) с целью выявления причин несоответствия вершин и дуг графа, в которых эти несоответствия наблюдаются.

Решения задачи диагностики можно достичь методом дедукции (составлением плана в обратном направлении, т. е. продвижением от конца к началу, что соответствует случаю, когда обучаемый, заработав оценку за решение задачи или полет в целом, хочет получить объяснения своим ошибкам) или индукции (составление плана в прямом направлении или продвижением от начала к концу, когда обучаемый хочет знать свои ошибки на каждом шаге) [6].

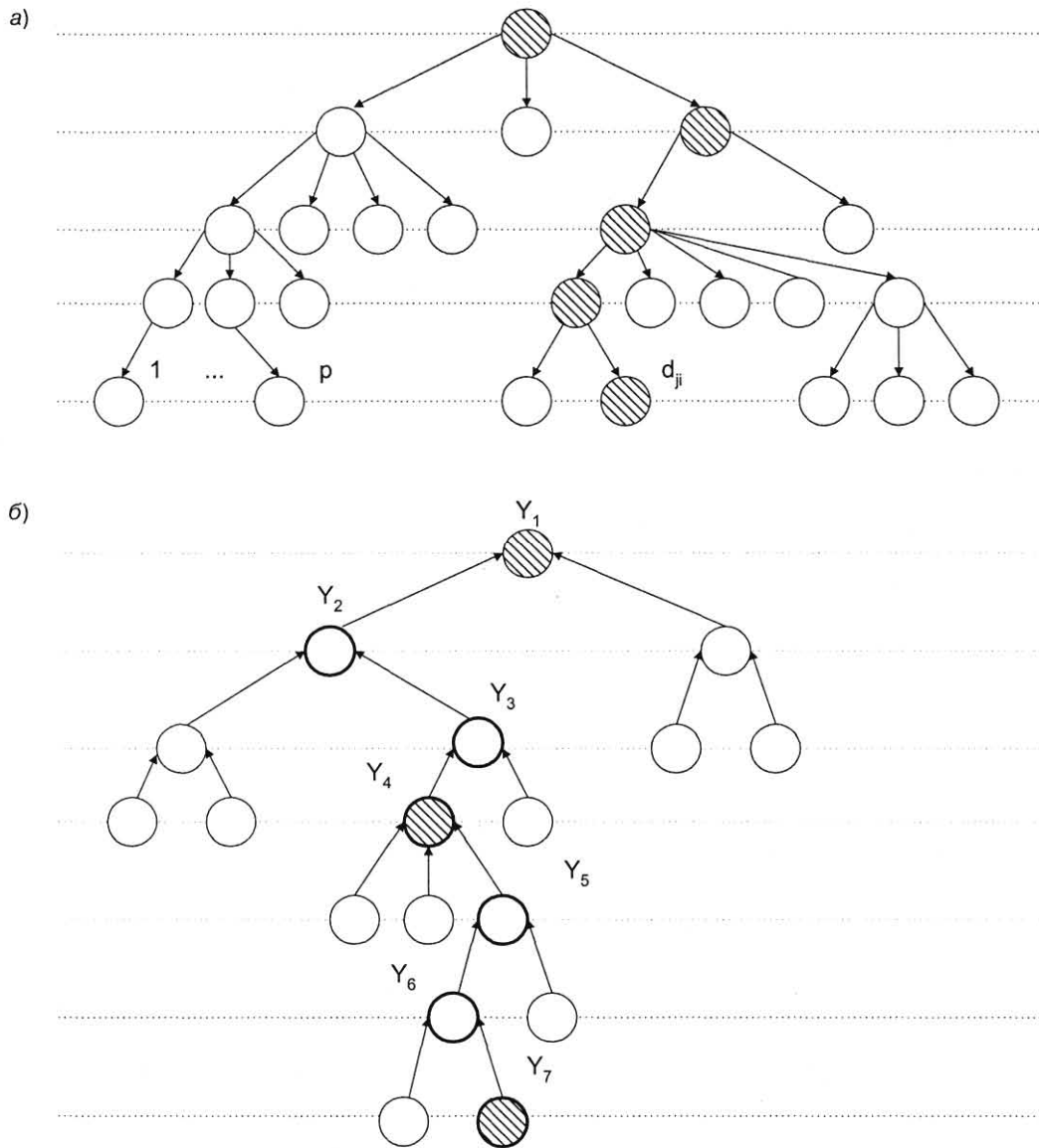
Модель диагностики деятельности обучаемого по решению последовательности задач при теоретическом обучении или в маршрутном полете методом дедукции в виде орграфа представлена на рис. 2, а. Здесь учитывается возможность различных вариантов развития событий вследствие изменения условий (например, исходных на полет) и потому продвижения обучаемого от начала к концу по той или иной ветви графа. Как видно из рис. 2 дедуктивный метод обеспечивает исключение из процесса диагностики всех не содержащих ошибки ветвей (содержащие ошибки вершины заштрихованы). Его недостатком является возможность достоверного определения ошибки лишь на нижнем (начальном) уровне. Для надежной идентификации всех ошибок на ветвях вышестоящих уровней иерархии необходимо неоднократное предъявление обучаемому фактической модели ОБ после применения процедуры исправления ошибки на нижестоящем уровне. В обучающих системах такая процедура недопустима, так как сопровождается отрицательным переносом навыка.

В предлагаемом способе диагностики деятельности обучаемого во избежание названных выше недостатков будем применять индуктивный метод, для чего в случае обнаружения ошибки на нижестоящем уровне в качестве эталона для сравнения на следующем уровне используем фактическую модель (рис. 2, б).

Модель коррекции эталонной модели по фактической на каждом шаге процедуры диагностики d_j можно представить в следующем виде:

$$\forall d_j \in D \begin{cases} \text{если } d_j = 1, \text{ ТО } X_j^{\text{э}} := Y_{j+1}^{\text{э}} \\ \text{если } d_j = 0, \text{ ТО } X_j^{\text{э}} := Y_{j+1}^{\text{ф}} \end{cases},$$

$$\text{где } d_j = \begin{cases} 1, & \text{при } Y_{j+1}^{\text{э}} = Y_{j+1}^{\text{ф}} \\ 0, & \text{при } Y_{j+1}^{\text{э}} \neq Y_{j+1}^{\text{ф}}, \quad j = (\overline{1, n}). \end{cases}$$



■ Рис. 2. Диагностика деятельности обучаемого: а — дедуктивный метод; б — индуктивный метод

В случае несовпадения результатов одиночной операции эталонной и фактической моделей на предыдущем уровне формирование операнда текущего уровня эталонной модели ($X_j^э$) предлагается реализовать путем искусственного присвоения результата операции предыдущего уровня фактической модели ($Y_{j+1}^ф$), а не за счет естественной трансформации результата операции предыдущего уровня эталонной модели ($Y_{j+1}^э$) [4].

Рассмотрим в качестве примера задачу «Расчет направления и скорости ветра по углу сноса и путевой скорости, измеренным на контрольном этапе», решение которой обучаемым должно быть проконтролировано. В этом случае объективными вершинами графа будут являться отдельные ее действия, а дугами — направления последовательности выполняемых действий.

Пример

Одним из важнейших дидактических средств подготовки оператора-навигатора является система задач, при решении которых он не только закрепляет полученные теоретические знания, но приобретает умения и навыки, необходимые в его профессиональной деятельности. Рассмотрим пример, когда по запросу оператора осуществляется диагностирование возможных ошибок и предъявление на экране результатов расчетов эталонных (выполненных ПЭВМ АОС) и фактических (выполненных обучаемым с помощью встроенного специализированного калькулятора, так как только в этом случае обеспечивается условие контролируемости) при решении задачи «Расчет направления и скорости

ветра по углу сноса и путевой скорости, измеренным на контрольном этапе».

Исходными данными задачи являются [5]:

— истинная воздушная скорость ($V_{ист}$ [$\frac{км}{ч}$]);
— угол курса (УК[°]); длина контрольного этапа ($S_{к.э}$ [км]);

— фактический условный путевой угол (ФУПУ[°]);

— время пролета контрольного этапа ($t_{к.э}$ [м · с]).

Алгоритм решения задачи следующий:

1) угол сноса: $УС = ФУПУ - УК$;

2) путевая скорость: $W = \frac{S_{к.э}}{t_{к.э}}$;

3) скорость ветра: $U = \sqrt{V^2 + W^2 - 2VW \cos(УС)}$;

4) направление ветра:

$$\sigma = \arcsin\left(\frac{W \sin(УС)}{U}\right) + УК;$$

$$\sigma = \begin{cases} \sigma - 360^\circ & \text{при } \sigma > 0 \\ \sigma + 360^\circ & \text{при } \sigma < 0 \end{cases}$$

Введем обозначения:

$$Y'_0 = УС = ФУПУ - УК;$$

$$Y'_1 = W = S_{к.э} / t_{к.э};$$

$$Y'_2 = \cos УС;$$

$$Y'_3 = VW;$$

$$Y'_4 = 2VW;$$

$$Y'_5 = 2VW \cos УС;$$

$$Y'_6 = V^2;$$

$$Y'_7 = W^2;$$

$$Y'_8 = V^2 + W^2;$$

$$Y'_9 = U^2 = V^2 + W^2 - 2VW \cos УС;$$

$$Y'_{10} = U = \sqrt{V^2 + W^2 - 2VW \cos УС};$$

$$Y'_{11} = \sin УС;$$

$$Y'_{12} = W \sin УС;$$

$$Y'_{13} = (W \sin УС) / U;$$

$$Y'_{14} = \arcsin((W \sin УС) / U);$$

$$Y'_{15} = \sigma = \arcsin((W \sin УС) / U) + УК;$$

$$Y'_{16} = \sigma = \sigma - 360^\circ \text{ при } \sigma > 0;$$

$$Y'_{17} = \sigma = \sigma + 360^\circ \text{ при } \sigma < 0.$$

Граф $G(X, M, Y)$ данной задачи (рис. 3) описывается с помощью системы следующих формул:

$$(\mu_{01}, \mu_{02})\mu_{11} \approx (\mu_{01} \xrightarrow{Y_{01}} \mu_{11}), (\mu_{02} \xrightarrow{Y_{02}} \mu_{11});$$

$$(\mu_{01}, \mu_{81})\mu_{91} \approx (\mu_{01} \xrightarrow{Y_{01}} \mu_{91}), (\mu_{81} \xrightarrow{Y_{81}} \mu_{91});$$

$$(\mu_{03}, \mu_{04})\mu_{12} \approx (\mu_{03} \xrightarrow{Y_{03}} \mu_{12}), (\mu_{04} \xrightarrow{Y_{04}} \mu_{12});$$

$$(\mu_{05})\mu_{24} \approx \mu_{05} \xrightarrow{Y_{05}} \mu_{41};$$

$$(\mu_{05}, \mu_{12})\mu_{25} \approx (\mu_{05} \xrightarrow{Y_{05}} \mu_{25}), (\mu_{12} \xrightarrow{Y_{12}} \mu_{25});$$

$$(\mu_{06}, \mu_{25})\mu_{33} \approx (\mu_{06} \xrightarrow{Y_{06}} \mu_{33}), (\mu_{25} \xrightarrow{Y_{25}} \mu_{33});$$

$$(\mu_{07}, \mu_{91})\mu_{101} \approx (\mu_{07} \xrightarrow{Y_{07}} \mu_{101}), (\mu_{91} \xrightarrow{Y_{91}} \mu_{101});$$

$$(\mu_{11})\mu_{21} \approx \mu_{11} \xrightarrow{Y_{11}} \mu_{21};$$

$$(\mu_{11})\mu_{22} \approx \mu_{11} \xrightarrow{Y_{11}} \mu_{22};$$

$$(\mu_{12}, \mu_{21})\mu_{31} \approx (\mu_{12} \xrightarrow{Y_{12}} \mu_{31}), (\mu_{21} \xrightarrow{Y_{21}} \mu_{31});$$

$$(\mu_{12})\mu_{23} \approx \mu_{12} \xrightarrow{Y_{12}} \mu_{23};$$

$$(\mu_{22}, \mu_{33})\mu_{41} \approx (\mu_{22} \xrightarrow{Y_{22}} \mu_{41}), (\mu_{33} \xrightarrow{Y_{33}} \mu_{41});$$

$$(\mu_{23}, \mu_{24})\mu_{32} \approx (\mu_{23} \xrightarrow{Y_{23}} \mu_{32}), (\mu_{24} \xrightarrow{Y_{24}} \mu_{32});$$

$$(\mu_{31}, \mu_{61})\mu_{71} \approx (\mu_{31} \xrightarrow{Y_{31}} \mu_{71}), (\mu_{61} \xrightarrow{Y_{61}} \mu_{71});$$

$$(\mu_{32}, \mu_{41})\mu_{51} \approx (\mu_{32} \xrightarrow{Y_{32}} \mu_{51}), (\mu_{41} \xrightarrow{Y_{41}} \mu_{51});$$

$$(\mu_{51})\mu_{61} \approx \mu_{51} \xrightarrow{Y_{51}} \mu_{61};$$

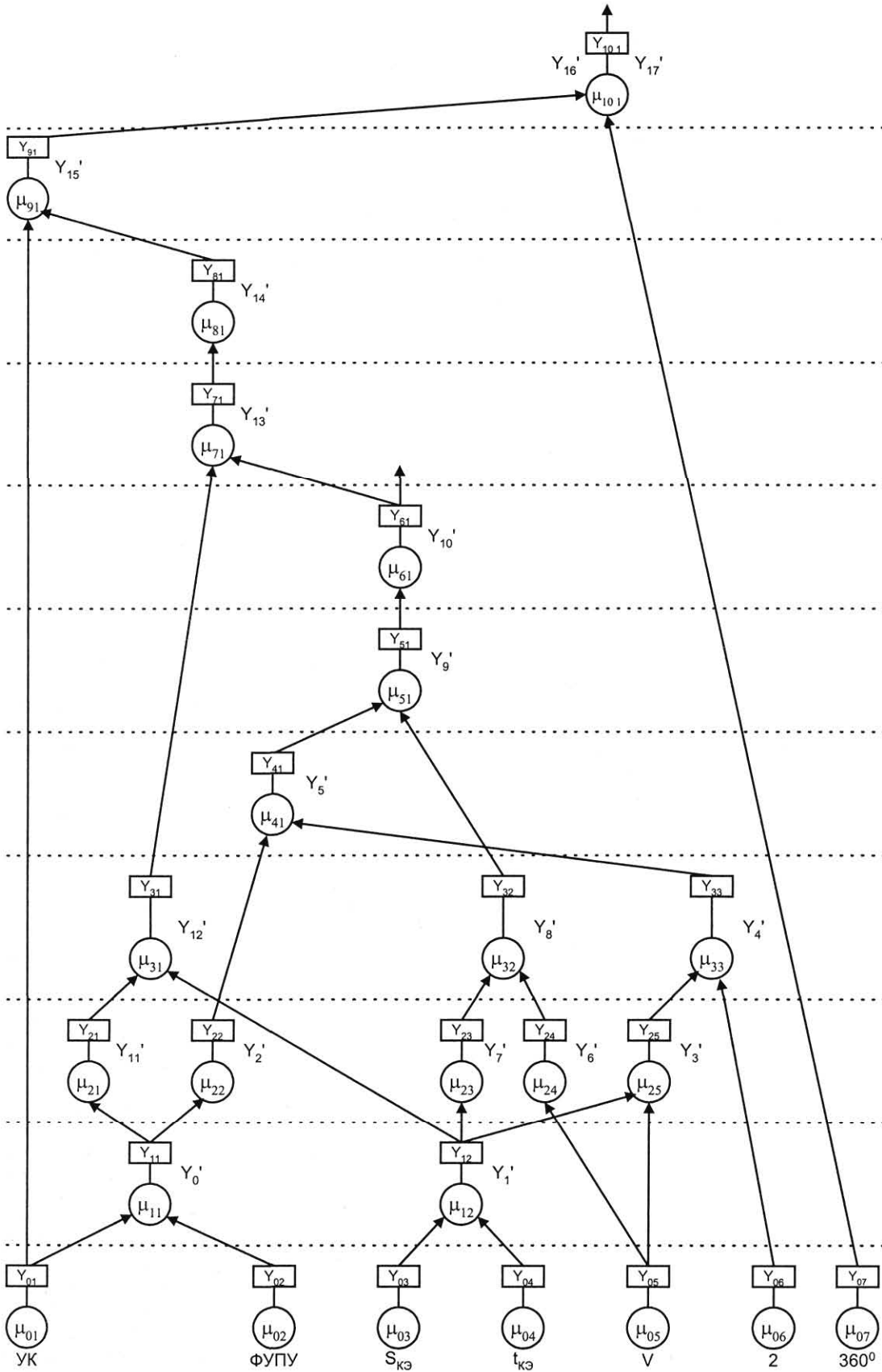
$$(\mu_{71})\mu_{81} \approx \mu_{71} \xrightarrow{Y_{71}} \mu_{81}.$$

Система формул определяет взаимосвязь между действиями в рассматриваемой задаче. Входными вершинами графа $\mu_{01}, \dots, \mu_{07}$ являются угол курса, фактический условный путевой угол, длина контрольного этапа, время пролета контрольного этапа, истинная скорость полета, константы 2 и 180° . Выходных вершин в задаче две, что является условием получения целевых знаний, т. е. нахождения искомого значения. Выходными вершинами являются: μ_{61} — скорость ветра и μ_{101} — направление ветра.

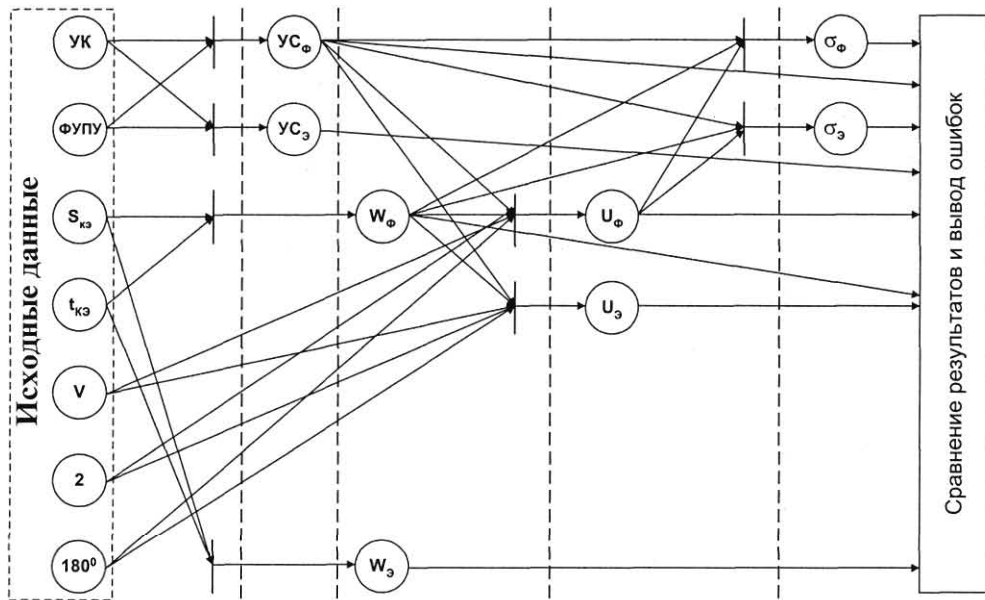
Данный граф описывает процесс решения рассматриваемой задачи и позволяет построить эталонную и фактическую структурные модели умения и проанализировать выходные вершины этих моделей, чтобы выявить причины несоответствия вершин и дуг графа. Методика диагностики ошибок обучаемого базируется на индуктивном способе, т. е. в случае обнаружения ошибки в предыдущей операции, например при расчете угла сноса, в качестве эталона для сравнения в следующей операции нахождения скорости ветра используется фактический угол сноса, а не эталонный (рис. 4).

Предложенная методика реализована программным способом с использованием языка Delphi, в основе идеологии которого лежит технология визуального проектирования и методология объектно-ориентированного программирования.

При решении задачи в АОС в открывшемся окне программ мы выбирается в меню «Задачи» одна из задач. Исходные данные задачи формируются случайным образом (см. рис. 7). Ответы вводятся обучаемым в поля ввода в левой панели экрана. В меню «Помощь» пункт «Калькулятор» позволяет вызвать

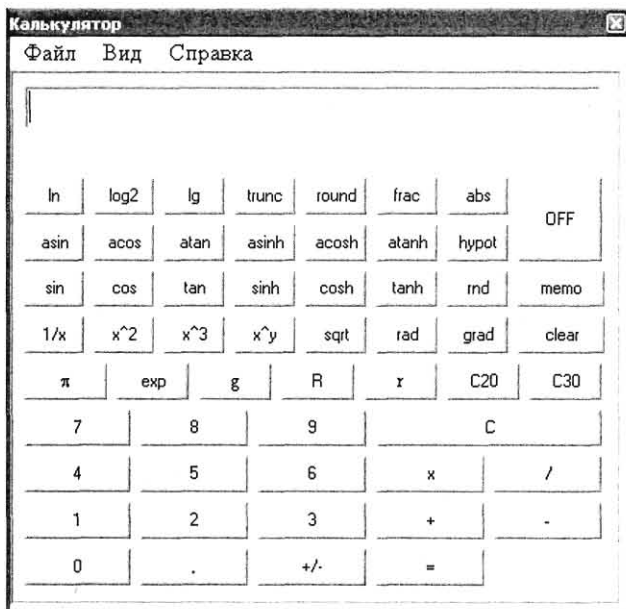


■ Рис. 3. Граф $G(X, M, Y)$ задачи «Расчет направления и скорости ветра по углу сноса и путевой скорости, измеренным на контрольном этапе»



■ Рис. 4. Применение методики диагностики ошибок обучаемого в задаче «Расчет направления и скорости ветра по углу сноса и путевой скорости, измеренным на контрольном этапе» при расчете скорости ветра

программу калькулятор (рис. 5). При нажатии кнопки «Результат» на экран выводятся эталонные значения, рассчитанные программой. На основе сравнения этих значений с результатами, введенными обучаемым, формируется оценка по каждому из действий и итоговый вывод, характеризующий общий итог решения задач. При нажатии на кнопку «Помощь» обучаемому предлагается возмож-

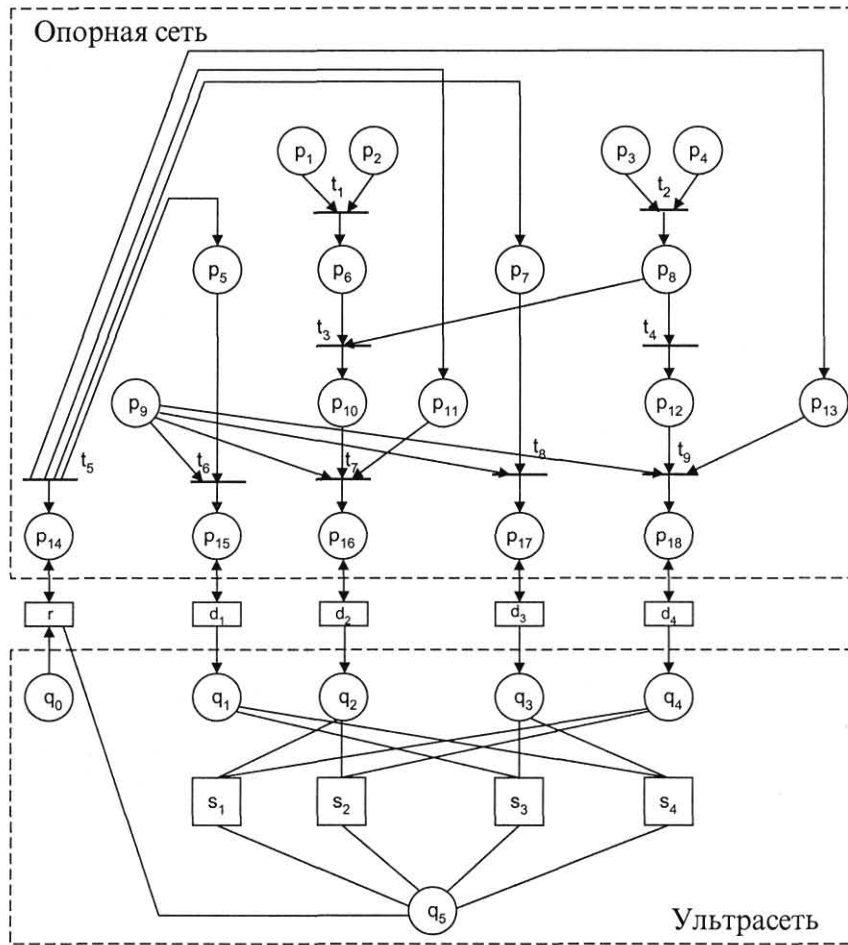


■ Рис. 5. Встроенный калькулятор для контроля действий обучаемого

ность увидеть те формульные зависимости, которыми он должен был руководствоваться при реализации последовательности действий решения каждой конкретной задачи.

На правой панели экрана представлена сетевая модель (сеть Петри) процесса решения задачи обучаемым оператором, которая может служить подсказкой обучаемому о месте сделанной ошибки (в режиме работы «Самоподготовки») или преподавателю, наблюдающему за ходом решения задачи (в режиме «Контроль знаний»).

Модель функционирует следующим образом (рис. 6). Исполнительный элемент (ИЭ) r через позицию p_{14} и переход t_5 осуществляет выполнение всех этапов вычислений, т. е. происходит расчет эталонных значений на каждом из этапов (P_5, P_7, P_{11}, P_{13}). Переходы t_6-t_9 осуществляют формирование ошибки на каждом этапе. Затем эти ошибки поступают в накопители q_1-q_4 через датчики d_1-d_4 . Ультрасистемы S_1 и S_2 осуществляют снятие ошибки с последнего этапа и ее анализ. Если ошибка не превышает допустимого значения, то формируется ответный сигнал на ИЭ r о том, что задача решена успешно, иначе происходит обращение через ультрасистемы S_3 и S_4 об ошибках на предыдущих этапах. В результате на накопитель q_5 возвращается информация о наиболее существенной ошибке (величина ошибки и номер этапа, на котором она допущена). Затем все сведения об ошибке поступают через ИЭ r на накопитель q_0 [1]. Окраска позиций зеленым цветом говорит о правильном решении задачи (оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно»), а красным — об ошибочных действиях обучаемого (оценка «неудовлетворительно») (рис. 7). Позиция P_9 осуществляет контроль времени решения задачи обучаемым.



■ Рис. 6. Полная сетевая модель задачи «Расчет направления и скорости ветра по углу сноса и путевой скорости, измеренным на контрольном этапе»

Задача

Файл Задачи Помощь

Задача 1 | Задача 2 | Задача 3 | Задача 4 |

РАСЧЕТ НАПРАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ВЕТРА ПО УГЛУ СНОСА И ПУТЕВОЙ СКОРОСТИ, ИЗМЕРЕННЫМ НА КЭ

Исходные данные:

| | |
|---|------|
| Условный курс (0 .. 360 град) | 104 |
| ФУПУ (0 .. 360 град) | 211 |
| Длина контрольного этапа (50 .. 300 км) | 127 |
| Время пролета контрольного этапа (ч) | 0.35 |
| Истинная скорость (400 .. 900 км/ч) | 568 |

Решение:

| | | | |
|-----------------------------|------|---------|---|
| 1. Угол сноса (град) | 0.2 | 1.999 | Р |
| 2. Путевая скорость (км/ч) | 400 | 36.000 | А |
| 3. Скорость ветра (км/ч) | 350 | 15.000 | Р |
| 4. Направление ветра (град) | -300 | 225.711 | А |

$\sigma > 0, \sigma = \sigma - 360$
 $\sigma < 0, \sigma = \sigma + 360$

Результат Справка

Сеть Петри

561 Время решения задачи

В вашем распоряжении 10 минут

■ Рис. 7. Результаты расчетов, выполненных обучаемым, и оценка его действий программой

В том случае, если задача не решена в отведенный интервал времени, обучаемый получает оценку «неудовлетворительно» по временному критерию решения контрольного задания.

Обращение обучаемого к программе по результатам вывода о неправильности его действий осуществляется с помощью позиции q_0 (см. рис. 6).

Литература

1. **Горбунов Д. А.** Интеллектуальный интерфейс в диагностической обучаемой системе // Сб. докл. Пятой научной сессии аспирантов и соискателей ГУАП. — СПб., 2002.
2. **Змитрович А. Н.** Интеллектуальные информационные системы. — Минск: НТООО «Тетрасистемс», 1997. — 368 с.
3. **Курганская Г. С.** Модели, методы и технология дифференцированного обучения на базе Интернет / Автореф. ... канд. тех. наук. — М., 2001. — 34 с.
4. **Мамаев В. Я., Петров К. К., Синяков А. Н.** Диагностика ошибок обучаемого в навигационном тренажере штурмана // Матер. научно-технич. конф. «Тренажерные технологии и симуляторы-2002». — СПб.: СПбГПУ, 2002. — С. 159.
5. **Мамаев В. Я., Синяков А. Н., Петров К. К., Горбунов Д. А.** Воздушная навигация и элементы самолетовождения: Учебное пособие. — СПбГУАП, 2002. — 280 с.
6. **Петров К. К.** Диагностика ошибок штурмана в интеллектуальной обучающей системе // Сб. докл. Пятой научной сессии аспирантов и соискателей ГУАП. — СПб., 2002.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЛИТЕХНИКА» ВЫПУСТИЛО В СВЕТ

Кербер Л. Л.

Туполев.— СПб.: Политехника, 1999. — 339 с.: ил.

Эта интереснейшая книга — воспоминание о выдающемся авиаконструкторе Андрее Николаевиче Туполеве. О человеке, помогавшем Н. Е. Жуковскому исследовать проблемы аэро- и гидродинамики, прошедшем столько испытаний, но не сломившемся и создавшем вместе со своим КБ более 100 типов военных и гражданских самолетов, среди которых АНТ-25, Ту-104 (первый реактивный самолет), Ту-114, Ту-144 (сверхзвуковой пассажирский). На его самолетах установлено 78 мировых рекордов, 28 уникальных перелетов с экипажами В. Чкалова и М. Громова, в том числе через Северный полюс в США.

А. Н. Туполев потряс Европу советскими самолетами и их достижениями.

Этой книгой издательство открывает публикацию серии книг о выдающихся отечественных авиаконструкторах. Книга рассчитана на широкий круг читателей.

Крылов А. Н.

Мои воспоминания. — 9-е изд., перераб. и доп. СПб.: Политехника, 2003. — 510 с.: ил.

Академик Алексей Николаевич Крылов — основоположник современной теории корабля — был ученым энциклопедического склада ума. Ему принадлежат оригинальные труды по различным вопросам математики, физики и астрономии; он автор многих изобретений и ряда прекрасно написанных учебных курсов по теории корабля, теоретической механике, дифференциальному и интегральному исчислениям и т. д.

Книга «Мои воспоминания» — это написанные прекрасным литературным языком рассказы большого ученого об основных периодах его научной и практической деятельности.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся историей отечественной науки, флота и судостроения.