

УДК 658.52

Е.С. ЯШИНА, Л.Н. ЛУТАЙ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЗИТИВНОГО ОПЫТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ НОВЫХ ПРОЕКТОВ СОЗДАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Рассматривается задача разработки методов и моделей планирования проектов по созданию образцов авиационной техники с использованием прецедентного подхода. Схема метода планирования нового авиационного проекта на основании использования накопленного опыта является многоэтапной. В статье предлагается осуществить поиск предварительного множества прецедентов, то есть уже реализованных проектов по созданию образцов авиационной техники. Для нахождения множества релевантных проектов в статье предложено использование метода иерархической агломеративной кластеризации.

Ключевые слова: множество прецедентов, иерархическая агломеративная кластеризация, научно-технический проект, прецедентный подход, авиационная техника, метрика подобия, метод планирования.

Введение

В данной работе рассматриваются сложные научно-технические проекты по созданию новых образцов авиационной техники. Для планирования новых проектов предлагается использовать прецедентный подход. Это даёт возможность использовать позитивный опыт прошлых разработок для решения новых задач [1, 2].

Как известно, эффективность поиска прецедентов для рассматриваемого случая во многом зависит от знаний о предметной области и конечной цели решения проблемы [3].

Предлагается осуществить выбор метода, на котором будет основываться нахождение меры сходства прецедентов на начальном этапе создания системы. Наиболее популярным и часто используемым является метод "ближайшего соседа" (nearest neighbour), а чаще всего применяется его модификация (K-nearest neighbours) [3 – 7]. Существуют также множество подходов к использованию методов добычи данных в системах вывода по прецедентам, которые сосредоточены на выборе релевантных прецедентов. В таких системах применяются различные методы добычи данных, среди них – деревья решений, байесовские сети, нейронные сети и т.д. [8]. Все они предлагают тот или иной способ измерения степени близости прецедента и рассматриваемого варианта проектного решения. Для процессов планирования приемлемо использовать прецедентный подход, применяя также эвристическую метрику подобия [9, 10].

В данной работе поиск наиболее подходящего прецедента только лишь с помощью выше перечис-

ленных методов не даёт корректного решения. Это связано с повышенной сложностью проектируемых изделий в рассматриваемых проектах. Такие проекты требуют наличия определённого множества релевантных прецедентов. Для поиска прецедентов предлагается ввести предварительный этап поиска множества проектов по созданию образцов аналогов авиационной техники на основании целевого назначения, эксплуатационных характеристик образцов авиатехники. Для осуществления предварительного этапа предлагается использовать классификационный метод.

Таким образом, задача разработки методов и моделей поиска релевантных проектов по созданию образцов авиационной техники для планирования нового проекта является актуальной.

1. Формулирование задачи исследования

В работе [2] была разработана укрупнённая схема метода планирования проекта по созданию новых образцов авиационной техники. Первый этап метода сводится к нахождению предварительного множества прецедентов – уже реализованных проектов по созданию образцов-аналогов авиационной техники. Поиск прецедентов осуществляется по целевому назначению и эксплуатационным характеристикам образцов авиационной техники, созданных на основании уже реализованных проектов.

С целью предварительного отбора множества прецедентов предлагается использовать кластер-анализ. Для данной задачи предложен конкретный метод иерархической восходящей классификации (агломеративной кластеризации). Агломеративная

кластеризация представляет собой метод, использующий разбиения. Преимущества метода заключаются в том, что агломеративный метод кластеризации позволяет заранее не определять количество классов, хорошо применим для классификации множеств не очень большого объема, и, на практике, обычно приводит к лучшим результатам, чем методы кластеризации, основанные на нисходящей классификации. Существенным преимуществом методов иерархической классификации является возможность наглядной интерпретации проведенного анализа [11 – 13].

2. Решение задачи исследования

Исходя из информации о значениях характеристик образцов авиатехники, уже созданных на основании реализованных проектов, и нового рассматриваемого проекта формируется таблица R_{ij} , в которой множество строк I представляет существующие образцы авиатехники (объекты), а множество столбцов J – значение их характеристик. Элементы таблицы R_{ij} образуют входные данные.

На первом этапе все объекты рассматриваются, как отдельные самостоятельные кластеры, состоящие всего лишь из одного элемента. Вычисляются расстояния между всеми возможными парами объектов, используя ту или иную метрику. В работе для получения матрицы расстояний между объектами предлагается использовать частный случай в виде семейства метрик Минковского, а именно евклидовое расстояние [14]. При этом признаки являются количественными, компоненты вектора наблюдений – однородны по своему физическому смыслу и все они одинаково важны с точки зрения решения вопросов об отнесении объекта к тому или иному классу [11, 14, 15]:

$$d(i, i') = \sqrt{\left(i^{(1)} - i'^{(1)}\right)^2 + \dots + \left(i^{(j)} - i'^{(j)}\right)^2}, \quad (1)$$

где $d(i, i')$ – попарно взаимное расстояние между объектами.

В процессе построения метода агломеративной иерархической кластеризации с использованием средней связи были использованы следующие обозначения:

$X(I)$ – иерархическая классификация (это множество непустых подмножеств множества I , частично упорядоченных отношением включения множеств);

$T(X(I))$ – множество терминальных классов иерархии $X(I)$;

$M(X_0), M(X_1), \dots, M(X_{|I|-1})$ – последователь-

ность вложенных разбиений;

$v(a)$ – индекс уровня класса a (показатель стратификации или диаметр класса);

$\delta^0(\{i\}, \{i'\}), \delta^1(\dots, \dots), \dots, \delta^{h-1}(\dots, \dots)$ – расстояния между классами;

h – шаг;

N – нетерминальный класс;

$Si(a)$ – множество классов, находящихся непосредственно под классом a , множество представляет собой разбиение множества a ;

$|I|$ – количество элементов множества I ;

$A(N) = i$ – приемник узла N ;

$B(N) = i'$ – второй приемник узла N ;

$P(N) = 2$ – число элементов узла N ;

s_h и s'_h – два класса из $M(X_{h-1})$, на которых реализуется минимальное значение расстояний δ^{h-1} на $M(X_{h-1})$.

2.1. Построение агломеративной иерархической кластеризации с использованием метода средней связи

Необходимо построить последовательность частичных иерархий $X_0, X_1, \dots, X_{|I|-1}$.

Начало. Рассматривается таблица расстояний $d(i, i')$, вычисленных по исходной таблице R_{ij} , при этом полагается, что:

$$X_0 = X_0(I) = T(X(I)) = \{\{i\}; i \in I\},$$

$$M(X_0) = X_0(I) = T(X(I)) = \{\{i\}; i \in I\},$$

$$v(\{i\}) = 0, (i \in I).$$

Принято, что расстояния между одноэлементными классами должны равняться расстояниям между элементами:

$$\delta^0(\{i\}, \{i'\}) = d(i, i'), (i, i' \in I). \quad (2)$$

Шаг $h=1$. Отыскивается минимальное значение δ на X_0 . Пусть это минимальное значение достигается на паре одноэлементных классов $\{i\}, \{i'\}$. Затем формируется первый узел с последовательным номером $|I|+1$, так что $N = |I|+1$ и $h=1$ полагаем:

$$a_1 = \{i, i'\}, Si(a_1) = \{i, i'\}, |a_1| = 2,$$

$$X_1 = X_1(I) = X_0 \cup a_1, \quad (3)$$

$$v(a_1) = \min\{\delta^0(i, i') : i \neq i', i, i' \in M(X_0)\} = v(N).$$

В заключение вычисляются расстояния между всеми классами нового разбиения, обозначенного

через $M(X_1)$. Поскольку оно получается из $M(X_0)$ объединением двух классов, то для пересчёта расстояний необходимо использование характеристики расстояния между двумя подмножествами элементов. Тогда можно вычислить расстояние между новым объединённым классом и другими классами:

$$\delta^1(a_1, t), (t \in M(X_1)).$$

В нашем случае характеристикой (критерием) расстояния между двумя подмножествами элементов является среднее расстояние между подмножествами (кластерами). А расстояние между новым классом и другими классами $\delta_{\text{ moy}}(a, b)$ (где a и b – два подмножества (класса) I) вычисляется по методу средней связи [1, 2]:

$$\delta_{\text{ moy}}(a, b) = \sum \{d(i, i'); i \in a, i' \in b\} / |a||b|. \quad (4)$$

Метод средней связи использует информацию обо всех расстояниях между парами кластеров [13, 15].

Расстояние между двумя классами определяется как среднее значение исходных расстояний между элементами, принадлежащими этим двум классам. Рекуррентная формула имеет следующий вид:

$$\delta_{\text{ moy}}^h(t, s_h \cup s'_h) = \left(\frac{|s_h| \delta_{\text{ moy}}^{h-1}(t, s_h) + |s'_h| \delta_{\text{ moy}}^{h-1}(t, s'_h)}{|s_h| + |s'_h|} \right) \quad (5),$$

при $t \neq s_h \neq s'_h; t, s_h, s'_h \in M(X_{h-1})$,

$$\delta_{\text{ moy}}^h(t, t') = \delta_{\text{ moy}}^{h-1}(t, t'), \quad (6)$$

при $t \neq t' \neq s_h \neq s'_h; t, t', s_h, s'_h \in M(X_{h-1})$.

Шаг $h=Z$. (рекуррентная формула). Известна последовательность вложенных иерархий, X_{h-1} , а также вершина $M(X_{h-1})$. Рекуррентные формулы, чтобы быть эффективными, должны основываться только на информации, относящейся к $M(X_{h-1})$. Получаем:

$$\begin{aligned} N &= |I| + h, \\ a_h &= s_h \cup s'_h, \text{Si}(a_h) = \{s_h, s'_h\}, \\ X_h(I) &= X_{h-1}(I) \cup a_h, \\ M(X_h(I)) &= M(X_{h-1}(I)) \cup \{a_h\} - \{s_h\} - \{s'_h\}, \quad (7) \\ v(a_h) &= \min \left\{ \delta^{h-1}(s, s'); s \neq s', s, s' \in M(X_{h-1}) \right\}, \\ |a_h| &= |s_h| + |s'_h|. \end{aligned}$$

Так что $v(N) = v(a_h)$, $A(N)$ и $B(N)$ – номера классов s_h и s'_h в иерархии X_{h-1} , соответственно $P(N) = P(A(N)) + P(B(N))$.

При пересчёте расстояний для $\delta^h(t, a_h), t \in M(X_h)$ используются следующие ве-

личины: $\delta^{h-1}(t, s_h), \delta^{h-1}(t, s'_h), \delta^{h-1}(s_h, s'_h), v(s_h), |s_h|, |s'_h|, v(t), |t|$.

Последний шаг $h=|I|-1$. Остаётся объединить только два класса, чтобы получить всё множество I . В этом случае:

$$\begin{aligned} N &= 2|I| - 1, \\ a_h &= I = s_h \cup s'_h, |a_h| = |s_h| + |s'_h| = |I|, \\ X_h &= X_{|I|-1} = X(I), \quad (8) \\ M(X_h) &= \{I\}, \\ v(a_h) &= v(I) = \delta^{h-1}(s_h, s'_h). \end{aligned}$$

Таким образом, все объекты становятся членами одного единственного кластера.

3. Экспериментальная часть. Построение древовидной диаграммы по кластеризации авиастроительных проектов

В примере рассмотрим планирование проектов по созданию новых образцов авиационной техники на основе прецедентного подхода. При планировании нового летательного аппарата ЛА необходимо выдержать ряд требований по целевому назначению и эксплуатационным характеристикам. В том числе требования к климатическим ограничениям (температуре окружающего воздуха); к массовым и центровочным характеристикам ЛА (взлётная масса, масса не снаряжённого ЛА, масло, снаряжение, не вырабатываемый остаток топлива, масса снаряжённого самолёта, топливо, полезная нагрузка, центровка снаряжённого самолёта, предельно передняя центровка, предельно задняя центровка); к лётно-техническим характеристикам ЛА (скорость взлёта, скорость набора высоты, крейсерская скорость, максимальная скорость в горизонтальном полёте, максимально допустимая скорость, скорость захода на посадку, максимальная скорость во взлётной конфигурации, максимальная скороподъёмность, минимальная скорость снижения, длина разбега, взлётная дистанция, длина пробега, посадочная дистанция, максимальная дальность полёта, максимальная продолжительность полёта и др.). Эксплуатационные ограничения включают в себя максимальную взлётную массу, переднюю и заднюю предельные центровки, минимально допустимую скорость во взлётной конфигурации, минимально допустимую скорость в крейсерской конфигурации, минимально допустимую скорость в посадочной конфигурации, скорость отрыва, максимальный угол крена, максимальную эксплуатационную пере-

более и более крупные кластеры. Этот процесс продолжается до тех пор, пока все объекты не станут членами одного единственного кластера. Определяя максимально допустимое расстояние между класте-

рами, процесс объединения кластеров можно рассматривать до определённого уровня, таким образом, получая необходимую кластеризованную выборку объектов.

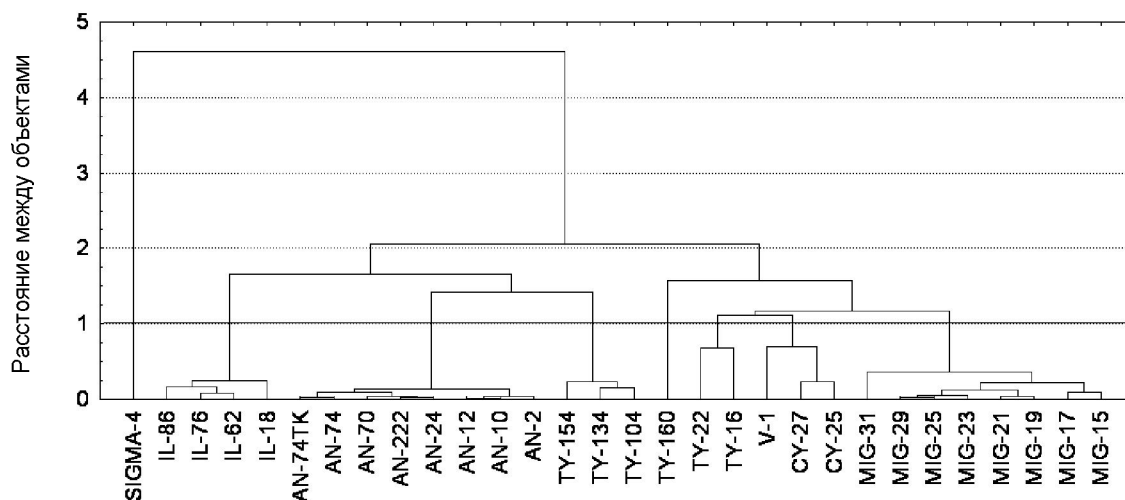


Рис. 3. Дендрограмма кластеризации ЛА

Если указанное членами команды проекта допустимое расстояние между кластерами не превышает заданного порогового значения (рис. 3), то это будет говорить о том, что рассматриваемый проект по созданию нового ЛА «V1» будет попадать в один кластер с проектами по созданию Су-25, Су-27, которые будут составлять множество релевантных прецедентов для рассматриваемого проекта. При этом расстояние между кластером «V1» и кластером, в составе которого Су-25, Су-27 приблизительно равно 0,7.

Заключение

В статье решена задача разработки метода планирования научно-технических проектов на основе использования прецедентного подхода.

В работе подробно рассматривается этап поиска предварительного множества прецедентов для нового проекта. Для нахождения предварительного множества прецедентов использован иерархический агломеративный метод кластеризации. Метод позволяет находить наиболее близкие проекты по созданию образцов авиационной техники, что даст возможность эффективно использовать опыт прошлых разработок для планирования новых проектов.

Литература

1. Трофимов И.В. Планирование на базе рассуждений по прецедентам [Электронный ресурс] / И.В. Трофимов. – 2007. – Режим доступа: [http://](http://aicenter.botik.ru/planning/index.php?ptl=materials/071cbp.htm)

aicenter.botik.ru/planning/index.php?ptl=materials/071cbp.htm.

2. Яшина Е.С. Планирование портфеля научно-технических проектов с использованием аналогичных технических и управленческих решений / Е.С. Яшина, Л.Н. Лутай // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2009. – №. 3(37). – С. 141-145.

3. Карпов Л.Е. Адаптивное управление по прецедентам, основанное на классификации состояний управляемых объектов [Электронный ресурс] / Л.Е. Карпов, В.Н. Юдин, 2007. – Режим доступа: <http://www.citforum.ru/consulting/BI/karpov/>.

4. Самоучитель по экспертным системам // Московский государственный университет [Электронный ресурс] // *Материалы сайта кафедры систем автоматизации проектирования МГСУ*. – Режим доступа: <http://sapr.mgsu.ru/biblio/ex-syst/index.html>.

5. Юдин А.Ю. Обоснование мероприятий по предотвращению отказов механических систем [Электронный ресурс] / А.Ю. Юдин, А.И. Павлов // *Материалы сайта института вычислительных технологий сибирского отделения РАН*. – Режим доступа: <http://www.ict.nsc.ru/ws/YM2003/6217/>.

6. Варшавский П.Р. Реализация метода правдоподобных рассуждений на основе прецедентов для интеллектуальных систем поддержки принятия решений [Электронный ресурс] / П.Р. Варшавский // *Десятая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ – 2006: материалы конф. Нац. науч. конф. 25-28 сентября 2006 г. – Обнинск, 2006. – Режим доступа: <http://www.raai.org/resurs/papers/kii-2006/>*.

7. Методы классификации и прогнозирования. Метод опорных векторов. Метод "ближайшего соседа". Байесовская классификация [Электронный ресурс] // Материалы сайта: Интернет-Университет Информационных технологий. – Режим доступа: http://www.intuit.ru/department/database/datamining/10/datamining_10.html

8. Местецкий Л.М. Математические методы распознавания образов: конспект лекций [Электронный ресурс] / Л.М. Местецкий, МГУ, 2002. – Режим доступа: http://www.ict.edu.ru/lib/index.php?a=elib&c=getForm&r=resDesc&d=light&id_res=4695

9. Трофимов И.В. Значимый контекст рассуждений в задаче планирования: эксперименты и перспективы / И.В. Трофимов // Десятая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ – 2006: материалы конф. Нац. науч. конф. 25-28 сентября 2006 г. – Обнинск, 2006. – С. 700-708.

10. Трофимов И.В. Планирование в средах с большим количеством объектов / И.В. Трофимов //

Международная научно-техническая конференция "Интеллектуальные системы" (AIS'05) и "Интеллектуальные САПР" (САД-2005): сб. науч. тр. – М., 2005. – С. 276-282.

11. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / С.А. Айвазян. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 606 с.

12. Жамбю М. Иерархический кластер-анализ и соответствия: моногр. / М. Жамбю. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 342 с.

13. Выбор метода кластеризации [Электронный ресурс] / материалы сайта: Market journal. – Режим доступа: <http://www.market-journal.com/marketingovyeissledovaniya/209.html>

14. Павлов А.И. Компонентный подход: модуль правдоподобного вывода по прецедентам / А.И. Павлов, А.Ю. Юрин // Программные продукты и системы. – 2008. – №3. – С. 55-58.

15. Объект и признак [Электронный ресурс] / материалы сайта: Биометрика. – Режим доступа: www.biometrica.tomsk.ru/cluster_2.htm

Поступила в редакцию 15.10.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела научного центра Воздушных Сил Б.А. Демидов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков, Украина.

ВИКОРИСТАННЯ ПОЗИТИВНОГО ДОСВІДУ ПРОЕКТУВАННЯ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ НОВИХ ПРОЄКТІВ СТВОРЕННЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

О.С. Яшина, Л.М. Лутай

Розглядається задача розробки методів та моделей планування проєктів по створенню зразків авіаційної техніки з використанням прецедентного підходу. Схема методу планування нового авіабудівного проєкту на основі використання накопиченого досвіду є багатоетапною. В статті пропонується здійснити пошук попередньої множини прецедентів, тобто вже реалізованих проєктів по створенню зразків авіаційної техніки. Для знаходження множини релевантних проєктів в статті запропоновано використання методу ієрархічної агломеративної кластеризації.

Ключові слова: множина прецедентів, ієрархічна агломеративна кластеризація, науково-технічний проєкт, прецедентний підхід, авіаційна техніка, метрика подібності, метод планування.

USE OF POSITIVE EXPERIENCE OF DESIGNING FOR PLANNING OF NEW PROJECTS OF CREATION OF AVIATION TECHNICS

He.S. Yashina, L.M. Lutay

The problem of working out of methods and models of planning of projects on creation of samples of aviation technics with use of the case approach is considered. The scheme of a method of planning of the new aviabuilding project on the basis of use of the saved up experience is multiple-stage. In article it is offered to carry out search of preliminary set of precedents, that is already realised projects in creation of samples of aviation technics. For a finding of set of relevant projects in article use of a method hierarchical agglomerative clustering is offered.

Key words: set of precedents, hierarchical agglomerative clustering, the scientific and technical project, the case approach, the aviation technics, the similarity metrics, a planning method.

Яшина Елена Сергеевна – канд. техн. наук, доцент кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Лутай Людмила Николаевна – аспирант кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: Lutay_L_N@mail.ru.