

УДК 681.3.06

ПРОЦЕДУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ НА ОСНОВЕ ОПЫТА РЕАЛИЗАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

С.Л. Беляков¹, П.Ю. Меняйлов²

¹доктор технических наук, профессор кафедры информационно-аналитических систем безопасности, Южный федеральный университет, г. Таганрог, Россия, e-mail: beliacov@yandex.ru

²магистрант кафедры информатики и вычислительной техники, Южный федеральный университет, г. Таганрог, Россия, e-mail: p.menyaylov@gmail.com

Аннотация. В работе представлен метод, позволяющий построить на карте геоинформационной системы траекторию транспортировки груза, минимизирующую суммарный риск реализации решения. Процедура построения решения использует опыт ранее выполненных логистических проектов. Рассмотрена модификация алгоритма планирования, учитывающая реализуемости маршрутов.

Ключевые слова: ГИС, минимизация стоимости плана, прецедент, оценка достоверности применения опыта.

PROCEDURE INTELLIGENT PATH PLANNING BASED ON THE EXPERIENCE OF THE LOGISTICS PROJECTS IMPLEMENTATION

Stanislav Belyakov¹, Paul Menyailov²

¹Ph.D., Professor of Department of information-analytical security systems, State higher educational institution "Institute of computer technologies and information security", Taganrog, Russia, e-mail: beliacov@yandex.ru

²undergraduate Department of computer science, southern Federal University, Taganrog, Russia, e-mail: p.menyaylov@gmail.com

Abstract. The article presents a method to build the map geographic information system the trajectory of the cargo transportation that minimizes total risk of implementation. The procedure for constructing solutions uses the experience of previously completed logistics projects. Considered a modification of the scheduling algorithm taking into account the feasibility of the routes.

Keywords: GIS, minimizing the cost of the plan, precedent, the evaluation of the reliability of the application experience.

Введение. Реализация интеллектуального планирования (automated planning) в различных интеллектуальных системах является сложной и актуальной задачей, предполагающей поиск необходимой последовательности шагов, приводящих к поставленной цели. Не существует универсального способа решения данной задачи и исследователи этой области предлагают



разные подходы к её решению [1-3]. В работе [4] описана идея применения методов группового выбора для адаптации решений прецедентов с последующим согласованием результатов.

Обобщенный алгоритм реализации описанного подхода состоит из следующих основных шагов [4]:

Шаг 1. Выбор близких аналогов для формирования агрегированного решения с помощью методов группового выбора.

Шаг 2. Формирование множества наборов данных для применения методов группового выбора.

Шаг 3. Решение задач группового выбора для каждого набора данных.

Шаг 4. Формирование агрегированного решения путем согласования (агрегирования) решений, полученных на шаге 3.

Достоинствами предложенного метода является следующее:

- оператор преобразования учитывает множество решений лучших (отобранных) прецедентов, а не только одного;
- порядок частей решения определяется при помощи методов группового выбора и представляет собой отношение группового предпочтения.

К недостаткам следует отнести:

- метод применим только для решения задач планирования, где решения представляют собой последовательности действий;
- окончательное решение является «усредненным», что не всегда является приемлемым.
- метод не учитывает искусственное добавление сегментов, повышающих риск, ограничения реализуемости.

Цель работы. Имеется некоторый опыт передвижения по участку местности в виде траекторий вне дорожной сети. В системе имеется информация о местности и необходимо построить план достижения конечной точки с минимальным риском. Риск растет, когда вводятся новые, не использованные на практике сегменты пути. Веса сегментов, по сути, отображают возможный ущерб, являющийся мерой риска.

Задача состоит в том, чтобы разработать метод, позволяющий построить решение, минимизирующее суммарную стоимость сегментов решений, взятых из известных прецедентов [5,6]. Иными словами:

$$\sum_{i=1}^N w_i \times L_{S_i} \quad (1)$$

Здесь w_i – вес сегмента решения, L_{S_i} – длина траектории i -го сегмента на карте, N – количество сегментов.

Предлагаемый метод решения. Пусть в системе существуют описание ситуаций перевозок грузов в виде двух прецедентов:



$$1. \quad Y = \{D_y, P_y\}$$

$$2. \quad Z = \{D_z, P_z\}$$

Здесь D_y, D_z – описание ситуаций, P_y, P_z – планы их решений. Сам план можно представить в виде: $P_i = \{S_i, W_i\}$, где $S_i = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ – множество сегментов последовательности решения, $W_i = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ множество соответствующих им весов. Ситуация описывается множеством параметров – $D_i = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$. Стоимость отдельного сегмента решения вычисляется как вес этого сегмента, умноженный на длину траектории на карте.

Применить имеющийся опыт в системе необходимо к ситуации перевозки груза – $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, где x_i – параметры. Пусть описания ситуаций прецедентов пересекаются с описанием ситуации X :

$$D_y \cap X \neq \emptyset, D_z \cap X \neq \emptyset \quad (2)$$

Это значит, что планы P_y, P_z прецедентов Y и Z потенциально применимы к новой ситуации X . Применимость имеющихся сегментов решения может регулироваться правилами реализуемости.

Если $\forall s_i \in S$ удовлетворяет соответствующему правилу реализуемости из множества R , то сегмент включается в план решения новой ситуации, иначе, отбрасывается. Если не был найден подходящий сегмент решения, то в решение добавляется искусственный сегмент максимальной стоимости, т.е. $w_i \rightarrow \max$.

Описание правил реализуемости. Множество правил реализуемости можно представить в виде неупорядоченного множества объектов и их отношений: $R = \{O_1 \varphi_1 O_2, \dots, O_{n-1} \varphi_n O_n\}$, где O_i – например, объект на карте или числовая характеристика, φ_i – элемент множества отношений принадлежности и порядка (больше, меньше, включает и т.д.).

Что касается технической системы, эти правила можно выразить в ней, например, так, как показано на рис. 1.

Количество правил, также как и объектов в сегменте решения, может быть неограниченным, но должно быть равным количеству этих объектов. Таким образом, благодаря такому подходу, можно создавать очень сложные и гибкие правила реализуемости.

Описание алгоритма. Обобщенный алгоритм генерации решения состоит из следующих основных шагов:

Шаг 1. Выборка прецедентов на основании описания новой ситуации.

Шаг 2. Выбор минимального сегмента решения из очередного прецедента.

Шаг 3. Оценка сегмента согласно правилам реализуемости.



Шаг 4. Добавление найденных сегментов в план решения новой ситуации.

Шаг 5. Проверка достижения цели:

$$\sum_{i=1}^N w_i \times L_{S_i} \rightarrow \min$$

```
var Rules = {
  listRules: [],
  Check: function(segmentPlan){
    var decision = false;
    for(var i = 0; i < segmentPlan.objects.pairs.length; i++){
      var obj1 = segmentPlan.objects.pairs[i].obj1;
      var obj2 = segmentPlan.objects.pairs[i].obj2;
      if(listRules[i](obj1, obj2)){
        decision = true;
      }else{
        decision = false;
        break;
      }
    }

    return decision;
  }
};

var rule = function(obj1, obj2){
  if(!isNaN(obj1) && !isNaN(obj2)){
    if(obj1 > obj2)
      return true;
  }
  return false;
}

Rules.listRules.push(rule);
```

Рисунок 1 – Представление правил реализуемости.

Рассмотрим минимизацию стоимости сегментов решений планов прецедентов на конкретном примере.

Имеется описание двух прецедентов доставки товаров в пункты Y и Z :

1. $Y = \{D_y, P_y\}$

2. $Z = \{D_z, P_z\}$

Описание ситуаций выглядит следующим образом:

$$D_y = \{\text{Координаты } X, \text{Перевозка малогабаритных грузов}, \text{Координаты } Y\}$$

$$D_z = \{\text{Координаты } X, \text{Перевозка малогабаритных грузов}, \text{Координаты } Z\}$$

Для простоты рассуждений представим описание планов прецедентов в виде вектора простых действий (или, например, расстояний): «направо», «налево». Тогда описанием планов будет:

$$P_y = \{\text{налево, направо, налево, налево}\}$$

$$P_z = \{\text{направо, направо, налево, налево, налево}\}$$

Веса сегментов в системе имеют значения:

$$W_y = \{20, 25, 15, 10\}$$

$$W_z = \{25, 30, 14, 22, 15\}$$

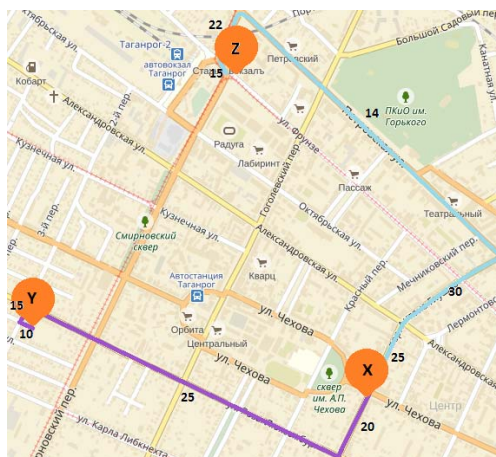


Рисунок 2 – Изображение маршрутов с их весами на карте.

Отсюда искусственный сегмент высокой стоимости будет $W_{\max} = 30$.

Длины участков сегментов заданы как:

$$L_{S_y} = \{30, 50, 40, 25\}, L_{S_z} = \{140, 150, 75, 80, 77\}.$$

Ограничения определим в виде:

$$R = \{w_{\min 1} \times L_{S_i} \leq 660, w_{\min 2} \times L_{S_i} < 900, w_{\min 3} \times L_{S_i} < 1200, w_{\min 4} \times L_{S_i} < 750, w_{\min 5} \times L_{S_i} < 500\}.$$

Здесь числа обозначают максимально допустимую стоимость перевозки по соответствующему сегменту.

Стоимость планов P_y, P_z :

$$P_y = \sum_{i=1}^N w_i \times L_{S_i} = 1200$$

$$P_z = \sum_{i=1}^N w_i \times L_{S_i} = 11965$$

Выполним расчеты для плана P_k .

$$1. \quad W_{y1} = 20, W_{z1} = 25 \rightarrow w_{\min} = 20$$



2. Проверим ограничение: $w_{\min} \times L_{S1} = 20 \times 30 = 600 \leq 660$. Условие выполнимо и сегмент решения принимается.
3. $W_{y2} = 25, W_{z2} = 30 \rightarrow w_{\min} = 25$
4. Проверим ограничение: $w_{\min} \times L_{S2} = 25 \times 50 = 1200 > 900$. Условие невыполнимо и сегмент решения не принимается, а заменяется искусственным. $W_{\max} \times L_{S2} = 30 \times 50 = 1500$.
5. $W_{y3} = 15, W_{z3} = 14 \rightarrow w_{\min} = 14$
6. Проверим ограничение: $w_{\min} \times L_{S3} = 14 \times 75 = 1275 > 1200$. Условие невыполнимо и сегмент решения не принимается, а заменяется искусственным. $W_{\max} \times L_{S3} = 30 \times 75 = 2250$.
7. $W_{y4} = 10, W_{z4} = 22 \rightarrow w_{\min} = 10$
8. Проверим ограничение: $w_{\min} \times L_{S4} = 10 \times 25 = 250 < 750$. Условие выполнимо и сегмент решения принимается.
9. $W_{y5} = W_{\max} = 30, W_{z5} = 15 \rightarrow w_{\min} = 15$
10. Проверим ограничение: $w_{\min} \times L_{S5} = 11 \times 77 = 1155 > 500$. Условие невыполнимо и сегмент решения не принимается, а заменяется искусственным. $W_{\max} \times L_{S5} = 30 \times 77 = 2310$.

Выясним стоимость нового плана P_k :

$$P_k = 600 + 1500 + 2250 + 250 + 2310 = 6910 < P_y + P_z = 14665.$$

Коэффициент выгоды нового плана равен $\frac{14665}{6910} \approx 2,185$.

Рассмотрим модификацию алгоритма, использующую иной подход к оценке. Введем понятие «согласованности» плана [6]. Оно заключается в отношении количества применимых этапов плана прецедента для новой ситуации к общему их количеству в прецеденте. Иными словами:

$$A = \frac{S}{L} \quad (3)$$

где S – количество успешно примененных этапов, которые соответствуют правилам реализуемости, L – длина всего плана.

Допустим, что перед системой стоит задача применения опыта перевозок груза из точки X в точку Y к ситуации перевозки груза из точки X в точку Z .

Пусть в системе имеется описание ситуации перевозок грузов в виде прецедента: $Y = \{D_y, P_y\}$.

Описание ситуации и плана выглядит так же, как и в примере выше:



$D_y = \{\text{Координаты } X, \text{Перевозка малогабаритных грузов}, \text{Координаты } Y\}$

$P_y = \{\text{налево}, \text{направо}, \text{налево}\}$. Таким образом, длина плана L равна 3.

Обозначим необходимые условия реализуемости:

$R = \{x_1 \cap O_1 = \emptyset, x_2 < \text{близость} > O_2 \leq 1, x_3 \cup O_3 \neq \emptyset\}$.

Здесь O_1 – объект «болото», O_2 – объект «автозаправка», который располагается не дальше 1 км от дороги, O_3 – объект «мост». Сегменты решения – x_1, x_2, x_3 .

Предположим, что в процессе применения плана к новой ситуации, не выполнилось только условие $x_2 < \text{близость} > O_2 \leq 1$. Тогда, количество успешно применимых этапов S равно 2 и можно вычислить «согласованность» алгоритма:

$$A = \frac{S}{L} = \frac{2}{3} \approx 0.66 < 1$$

```
function getBuildedMinimumPlan(CurrentSituation, Rules){
    Plan newPlan = new Plan();
    BasePrecedents base = new BasePrecedents();
    var situationPrecedents = base.getPrecedentsOf(currentSituation);
    var i = 0;
    if(situationPrecedents.size() > 0){
        while(i < situationPrecedents.size() - 1){
            var precedent = situationPrecedents[i];
            var len = Max(precedent.plan.size(), situationPrecedents[i+1].plan.size());
            var maxWeight = MaxWeight(situationPrecedents.plans());
            for(var k = 0; k < len; k++){
                if(Rules.Check(precedent.plan[k] &&
                    Rules.Check(situationPrecedents[i+1].plan[k])){
                    newPlan.add(Min(precedent.plan[k].weight, situationPrecedents[i+1].plan[k].weight))
                }
                if(!Rules.Check(precedent.plan[k] &&
                    Rules.Check(situationPrecedents[i+1].plan[k])){
                    newPlan.add(Min(maxWeight, situationPrecedents[i+1].plan[k].weight))
                }
                if(Rules.Check(precedent.plan[k] &&
                    !Rules.Check(situationPrecedents[i+1].plan[k])){
                    newPlan.add(Min(maxWeight, precedent.plan[k]))
                }
            }
            i++;
        }
    }
    return newPlan;
}
```

Рисунок 3 – Пример условной функции процесса вычисления на языке JavaScript

Соответственно, если будут известны значения «согласованности» двух планов, то будет возможен выбор наиболее предпочтительного посредством сравнения этих значений.

```
function isConsistency(Rules, Precedent){  
    var A = 0, S = 0, L = Precedent.plan.size();  
    for(var i = 0; i < L; i++){  
        if(Rules.Check(Precedent.plan[i])){  
            S++;  
        }  
    }  
    A = S / L;  
    return A;  
}
```

Рисунок 4 – Пример функции расчета согласованности прецедента на языке Javascript.

Вывод. В работе предложен подход к построению решения, которое будет минимизировать суммарную стоимость сегментов решений, взятых из других прецедентов.

Практическая значимость подхода заключается в возможности количественной оценки стоимости и возможности применения существующих решений в других аналогичных ситуациях [7-9].

Достоинством данного метода является учет в процессе решения правил реализуемости, что придает методу гибкости. При планировании учитывается искусственное добавление сегментов, повышающих риск.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 15-01-00149.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hankz Hankui Zhuoa, Subbarao Kambhampatib. Model-lite planning: Case-based vs. model-based approaches / Zhuoa Hankui Hankz, Kambhampatib Subbarao // Artificial Intelligence. - 2017. - № 246. - С. 1-21.
2. Sousa, A. R.*. Tavares, J. J. P. Z. S.*. Toward Automated Planning Algorithms Applied to Production and Logistics / J. J. P. Z. S.*, Tavares, Sousa, A. R.*. // 6th IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics The International Federation of Automatic Control. – September 11-13, 2013. С. 165-170.
3. Bernd Heinrich, Mathias Klier, Steffen Zimmermann. Automated planning of process models: Design of a novel approach to construct exclusive choices / Heinrich Bernd, Klier Mathias, Zimmermann Steffen // Decision Support Systems. - 2015. - №78. - С. 1-21.
4. Юрин А. Ю. Методы группового выбора для адаптации решений, полученных в результате рассуждений на основе прецедентов / А.Ю. Юрин // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2013. - № 3. - С. 78-85.
5. Беляков С.Л. Адаптивная к изменению структуры базы данных визуализация пространственных данных / С.Л. Беляков, М.Л. Белякова, М.Н. Савельева // Приборы и системы, управление, контроль, диагностика. – 2016. – № 1. – С. 25-32.
6. Беляков С.Л. Прецедентный анализ образов в интеллектуальных геоинформационных системах / С.Л. Беляков, М.Л. Белякова, М.Н. Савельева // Информационные технологии. – 2013. – №7. – С. 22-25.

7. Беляков С.Л. Геоинформационные модели для принятия решений на основе опыта / С.Л. Беляков, М.Л. Белякова, Брехачева А.И. // Информационные технологии. – 2015. – №7. – С. 544-550.

8. Беляков С.Л. Образная модель представления опыта принятия решений с помощью геоинформационных систем / С.Л. Беляков, М.Л. Белякова, М.Н. Савельева // Геоинформатика. – 2014. – №4. – С. 23-28.

9. Беляков С.Л. Прецедентный анализ маршрутов на электронных картах / С.Л. Беляков, М.Л. Белякова, И.Н. Розенберг, М.Н. Савельева // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – №5. – С. 47-51.

УДК 622.684

АНАЛІЗ ВТОМИ ІЗОЛЯЦІЇ ЯКІРНОЇ ОБМОТКИ ТЯГОВОГО ДВИГУНА КАР'ЄРНОГО САМОСКИДА У СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS SIMULATION

А.В. Веснін¹, В.О. Сістук², А.О. Богачевський³

¹кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри підйомно-транспортних машин, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: art_vesnin@mail.ru

²кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: vladimir.sistuk@ya.ru

³асистент кафедри підйомно-транспортних машин, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: mr.bogachevsky@mail.ru

Анотація. У роботі представлено аналіз втомних деформацій та механізм утворення тріщини у лаковому покритті лобової частини якірної обмотки тягового двигуна кар'єрного самоскида БелАЗ-75131. Методом кінцевих елементів за допомогою комп'ютерного моделювання виявлено природу та строки утворення тріщини у різних шарах лакового покриття з урахуванням особливостей роботи самоскидів у глибоких залізрудних кар'єрах.

Ключові слова: кар'єрний самоскид, тяговий двигун, якірна обмотка, комп'ютерне моделювання, втомне руйнування, тріщиноутворення.

FATIGUE ANALYSIS OF OPEN PIT TRUCK'S TRACTION MOTOR ARMATURE WINDING IN SOLIDWORKS SIMULATION

Artem Vesnin¹, Volodymyr Sistuk², Anton Bogachevsky³

¹PhD, associated professor, Head of the Handling Road and Reclamation Machinery and Equipment Department, SHEI "Kryvyi Rih National University", Kryvyi Rih city, Ukraine, e-mail: art_vesnin@mail.ru

²PhD, associated professor of the Automobile Transport Department, SHEI "Kryvyi Rih National University", Kryvyi Rih city, Ukraine, e-mail: vladimir.sistuk@yandex.ru