

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ СОСТАВЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНА ОБРАБОТКИ ВОДНЫХ УЧАСТКОВ ЗЕМЛЕСНАРЯДАМИ

THE CONSTRUCTION OF THE OPTIMAL PLAN TO TREAT WATER AREAS WITH DREDGERS

*Y. Pavlov
A. Shirokov*

Summary. The problem of formalized description of the task of scheduling the treatment of a set of water areas by a set of dredgers is formulated in the publication. The difference between the classical assignment problems is that there are two types of land plots and two types of dredgers. One type of dredger can handle both types of sites, and the second only one. The variables of the task are the distances between the water areas, the time of their processing. The criterion of efficiency is the total processing time of all water areas, which must be minimized.

Keywords: Formalized description, dredger, water areas, the distance between water areas, processing time.

Павлов Юрий Владимирович

Национальный исследовательский технологический университет МИСЦ
yura.pavlov1994@yandex.ru

Широков Андрей Игоревич

К.т.н., доцент, Национальный исследовательский технологический университет МИСЦ
ais49@mail.ru

Аннотация. В публикации приведено формализованное описание задачи составления расписания обработки множества водных участков набором земснарядов. Отличие классической задачи о назначении состоит в том, что существуют два типа земельных участков и два типа земснарядов. Один из типов земснарядов может обрабатывать оба типа участков, а второй только один. Переменными задачи являются расстояния между участками, время их обработки. Критерием эффективности выбрано общее время обработки всех участков, который необходимо минимизировать.

Ключевые слова: Формализованное описание, земснаряд, водный участок, расстояние между водными участками, время обработки.

Вступление

В современном мире многие сферы человеческой жизни подвержены механизации и автоматизации. И зачастую человеку достаточно лишь дать верную команду машине, и работа будет выполнена. Одной из таких машин является земснаряд. Это техническое судно, предназначенное для проведения работ по обработке грунтов под водой при помощи метода гидромеханизации, т.е. перекачивание жидкостей с грунтом по пульпопроводу на достаточно большие расстояния. На практике мы сталкиваемся с тем, что имеется объем работ, который необходимо выполнить с учетом ограниченных ресурсов. Традиционно рассматриваются два варианта ограничения: денег и времени. В задаче о составлении расписания работы набора земснарядов для каждого из имеющихся необходимо сформировать порядок обработки своего подмножества участков. Естественно, что при этом каждый земснаряд обрабатывает только один участок, и все участки будут обработаны.

Основные элементы, рассматриваемые в задаче,— это два множества: земснаряды и водные участки.

Земснаряды бывают двух классов [1,2,3]: рефулерные и многочерпаковые. Каждый класс земснаряда характеризуется своей скоростью передвижения между

участками и производительностью работы [4,5,6]. Каждый участок характеризуется объемом работ и качеством грунта. Количество земснарядов меньше количества участков. Каждый участок может обрабатываться только одним земснарядом. Водные участки связаны между собой путями, расстояния которых заданы. Если прямой путь между некоторыми участками отсутствует, то расстоянием между этими участками является кратчайший путь, чтобы добраться из одного участка до другого через сторонние участки. Качество грунта участка бывает обычным и жестким [2,3]. Участок с жестким грунтом может обрабатывать только многочерпаковый земснаряд, причем производительность работы этого класса земснарядов на участке с жестким грунтом ниже, чем на участке с обычным грунтом. В начальный момент времени все земснаряды стартуют с фиктивного (нулевого) участка.

Решением этой задачи будет такая информация:

1. оптимальное значение времени, требующееся земснарядам, чтобы обработать все участки,
2. назначение земснарядам участков, которые им необходимо обработать, и порядок их обработки,
3. расписание работ, показывающее, что делает каждый земснаряд в конкретный момент времени (обрабатывает участок или перемещается между участками).

Рассматриваемая задача является задачей теории расписаний [7,8]. Время дискретно. Расстояния между участками и наличие между ними прямых путей заданы неполно связным взвешенным графом. Маршрут является кортежем. Элементом кортежа маршрута является вершина графа. Расстоянием между участками является длина маршрута от одного участка до другого, равная сумме весов ребер между входящими в кортеж вершинами. Прямой путь — кортеж маршрута, состоящий из двух элементов. Сторонним участком является элемент в кортеже маршрута, не совпадающий с первым и последним элементом кортежа.

Приведем обозначения используемых переменных.

Множество данных о землеснарядах:

$$I = \{I_i\}, i = \overline{1, N},$$

$$I_i = \langle k_i, pw_i, sp_i \rangle, \quad k_i \in \{1, 2\}, pw_i > 0, sp_i > 0,$$

где k_i — класс землеснаряда I_i ,

pw_i — производительность землеснаряда I_i ,

sp_i — скорость передвижения землеснаряда I_i .

Множество данных об участках:

$$J = \{J_j\}, j = \overline{1, M},$$

$$J_j = \langle w_j, h_j \rangle, \quad w_j > 0, h_j \in \{1, 2\},$$

где w_j — объем работ на участке,

h_j — качество грунта участка.

Множество данных о расстояниях между участками, для которых есть прямой путь:

$$G = \{G_{g_1, g_2}\}, g_1 = \overline{1, L}, g_2 = \overline{1, L}, G_{g_1, g_2} > 0,$$

где L — количество прямых путей между участками,

g_1 — номер первого участка,

g_2 — номер второго участка.

Множество данных о расстояниях между участками:

$$d = \{d_{pj}\}, p = \overline{1, M}, \quad j = \overline{1, M}, d_{pj} \geq 0,$$

где p — номер первого участка,

j — номер второго участка.

Отображение из кортежа количества сторонних участков в множество количества сторонних участков, через которые необходимо пройти, чтобы попасть из одного участка в другой:

$$Z: \langle p, j, o \rangle \rightarrow P, p = \overline{1, M}, j = \overline{1, M}, o = \overline{1, \infty}, P = [0, \infty),$$

где o — вариант пути между двумя участками.

Множество количества участков, назначенных землеснаряду при заданном размещении землеснарядов по участкам:

$$F = \{F_{iV}\}, \quad i = \overline{1, N}, V = \overline{1, N^M}, F_{iV} > 0,$$

где V — размещение землеснарядов по участкам.

Отображение из кортежа назначений участков в множество коэффициентов назначений землеснарядам участков при определенном размещении землеснарядов по участкам, при определенной перестановке назначенных землеснарядам участков и при определенном порядке их обработки:

$$X: \langle i, j, V, v_{iV}, q_{iV} \rangle \rightarrow R, v_{iV} = \overline{1, F_{iV}}, q_{iV} = \overline{1, F_{iV}}, R = \{0, 1\},$$

где q_{iV} — порядок обработки участка землеснарядом, v_{iV} — перестановка назначенных землеснаряду участков.

Множество значений времени, необходимого землеснаряду, чтобы обработать назначенные ему участки:

$$A_i = \{A_{v_{iV}}\}, A_{v_{iV}} > 0.$$

Множество значений времени, необходимых землеснарядам, чтобы обработать назначенные им участки при оптимальных перестановках участков:

$$B_V = \{B_{Vi}\}, B_{Vi} > 0.$$

Множество оптимальных значений времени, необходимых землеснарядам для обработки всех участков при заданном размещении землеснарядов по участкам:

$$C = \{C_V\}, \quad C_V > 0.$$

T — оптимальное время обработки землеснарядами всех участков.

T' — округленное в большую сторону до целого числа значение времени T .

Множество состояний работ землеснаряда в разные моменты времени:

$$y_i = \{y_{is}\}, s = \overline{1, T'}.$$

Множество состояний работ всех землеснарядов в разные моменты времени:

$$Y = \{Y_s\}, s = \overline{1, T'}.$$

Множество коэффициентов перемещения между участками:

$$A_1 = \{a_{is}\}, a_{is} = \overline{1, L};$$

где a_{is} — номер пути, по которому может перемещаться землеснаряд в конкретный момент времени.

Множество коэффициентов обработки участков:

$$B_1 = \{b_{is}\}, b_{is} = \overline{1, M};$$

где b_{is} — номер обрабатываемого землеснарядом участка в конкретный момент времени

Оптимальное время обработки всех участков всеми землеснарядами одновременно и назначение участков землеснарядам рассчитывается по приведенным ниже формулам.

$$T = \min_V (C_V);$$

при следующих ограничениях:

$$C_V = \max_i (B_{Vi}), V = \overline{1, N^M};$$

$$B_{Vi} = \min_{v_{iV}} (A_{v_{iV}}); v_{iV} = \overline{1, F_{iV}}, A_{v_{iV}} > 0; V = \overline{1, N^M};$$

$$A_{v_{iV}} = \sum_{V=1}^{N^M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{v_{iV}=1}^{F_{iV}} \sum_{q_{iV}=1}^{F_{iV}} X(i, j, V, v_{iV}, q_{iV}) \times \left(\frac{w_j}{pw_i} + \frac{d_{pj}}{sp_i} \right);$$

$$p = \begin{cases} 0, & q_{iV} = 1 \\ j, & q_{iV} > 1, X(i, j, V, v_{iV}, q_{iV} - 1) = 1 \end{cases};$$

$$\sum_{i=1}^N F_{iV} = M, V = \overline{1, N^M};$$

$$\sum_{i=1}^N X(i, j, V, v_{iV}, q_{iV}) = 1, j = \overline{1, M}, V = \overline{1, N^M};$$

$$v_{iV} = \overline{1, F_{iV}}, q_{iV} = \overline{1, F_{iV}}$$

$$\sum_{q_{iV}=1}^{F_{iV}} X(i, j, V, v_{iV}, q_{iV}) = 1, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M},$$

$$V = \overline{1, N^M}, v_{iV} = \overline{1, F_{iV}};$$

$$h_j \in \{1, 2\}, k_i \in \{1, 2\}, q_{iV} = \overline{1, F_{iV}};$$

$$X(i, j, V, v_{iV}, q_{iV}) = \begin{cases} (0||1), & (h_j = 1 \parallel (k_i = 2, h_j = 2)), \\ 0, & k_i = 1, h_j = 2 \end{cases};$$

$$d_{pj} = \begin{cases} G_{g_1 g_2}, Z(p, j, o) = 0, g_1 = p, g_2 = j, o \in \{1, \dots, \infty\} \\ \min(G_{g_1 l} + G_{l g_2}), g_1 = p, g_2 = j, Z(p, j, o) = 1, o \in \{1, \dots, \infty\} \\ \min(G_{g_1 l} + \sum_{i=1}^{Z(p, j, o)-1} G_{i(i+1)} + G_{(i+1)g_2}), Z(p, j, o) > 1, o \in \{1, \dots, \infty\} \end{cases},$$

где l — номер стороннего участка.

Расписание работ рассчитывается по приведенным ниже формулам.

$$Y_s = \sum_{i=1}^N y_{is};$$

при следующих ограничениях:

$$s = \overline{1, T'}, a = \overline{0, L}, b = \overline{0, M};$$

$$y_{is} = \sum_{a_{is}=1}^L a_{is} + \sum_{b_{is}=1}^M b_{is}.$$

Вывод

Рассмотрена задача составления расписания обработки множества водных участков набором земснарядов. Анализ ситуации показал, что имеются по два типа, как водных участков, так и земснарядов. Это вносит специфику в классическую задачу составления расписания, что учитывается в ее формальном описании. Сформулированную таким образом задачу предполагается решить генетическим алгоритмом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Устройство и принцип работы землеснаряда // ООО «ЗМК». — URL: https://www.земснаряд23.pf/articles/ustrtoystvo_i_princip_roboty.php (дата обращения: 28.09.2019).
2. Речной бассейн // Экология справочник. — URL: <http://ru-ecology.info/term/10528/> (дата обращения: 28.09.2019).
3. Дноуглубительные работы // Гидрострой. — URL: <http://www.fls-gidrostroy.ru/?dnouglubitelnye-raboty> (дата обращения: 28.09.2019).
4. Как выбрать земснаряд часть 1 // HydroKit. — URL: <http://hydrokit.ru/stati/zemsnyaryad-1> (дата обращения: 28.09.2019).
5. Как выбрать земснаряд часть 2 // HydroKit. — URL: hydrokit.ru/stati/zemsnyaryad-2 (дата обращения: 28.09.2019).
6. Рефулерный земснаряд. Эффективность использования рефулерных земснарядов для различных гидротехнических нужд // ООО «ЗМК». — URL: http://zmk23.ru/stat/ruf_zemsnyariad.php (Дата обращения: 28.09.2019).

7. Лазарев А. А., Гафаров Е. Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. — М.: Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (МГУ), 2011. 222 с. Адрес загрузки — physcontrol.phys.msu.ru/materials/PosobieLazarev/TeorRasp.pdf (Дата обращения: 28.09.2019).
8. Добрынин В. Н., Мороз В. В., Миловидова А. А. Унифицированная методика решения задачи расписания на основе задачи упорядочения // Электронный журнал Системный анализ в науке и образовании. — 2010. — Выпуск № 3. Адрес загрузки — <http://sanse.ru/download/61> (Дата обращения: 28.09.2019).

© Павлов Юрий Владимирович (yura.pavlov1994@yandex.ru), Широков Андрей Игоревич (ais49@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Национальный исследовательский технологический университет МИСиС