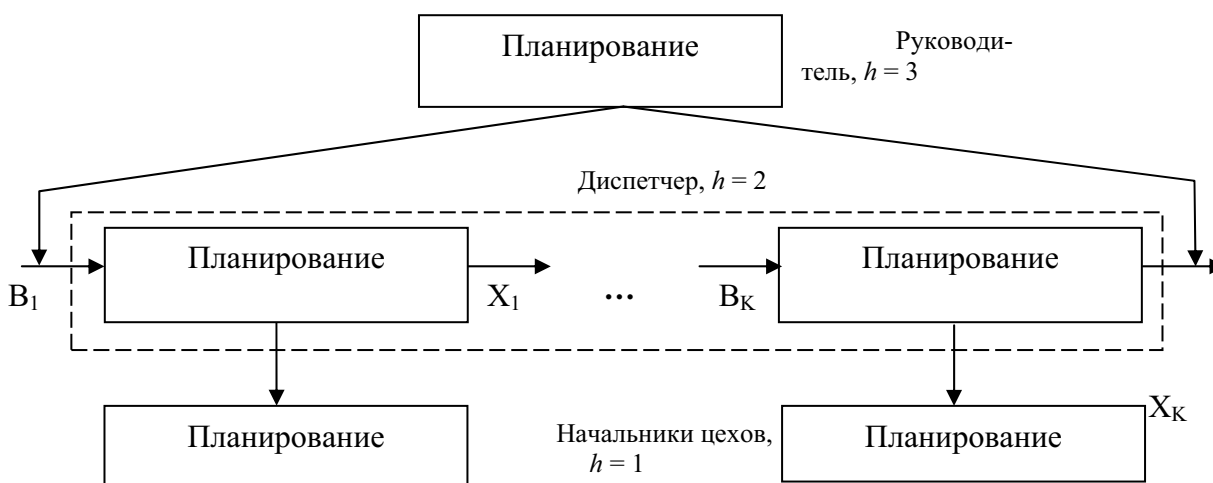


ИМИТАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА

В. Д. Чертовской (Санкт-Петербург)

Введение

В серийном судо-, машино- и приборостроительном производстве планирование как процесс (рис. 1) характеризуется трехуровневой структурой [1]. Отличительной ее особенностью является взаимодействие структурных элементов разных уровней $h = 3$ (руководство) и $h = 1$ (начальники цехов) с уровнем $h = 2$ (диспетчер) по вертикали и взаимодействие элементов уровня $h = 2$ по горизонтали (технологическая цепочка).



Процесс оптимального многоуровневого планирования, позволяющего наилучшим образом использовать имеющиеся ресурсы, с применением задачи статического линейного программирования (СЛП) для описания отдельных элементов в теоретическом плане рассмотрен в работе [1]. Задача СЛП имеет вид

$$DN \leq X \leq DV ; \quad (1)$$

$$BN \leq AX \leq BV ; \quad (2)$$

$$G = CX \rightarrow \max , \quad (3)$$

где X – вектор искомого плана; DN, DV – векторы нижнего и верхнего ограничений на план; A – матрица норм расходов ресурсов; C – вектор прибыли от единицы плановой продукции; BN, BV – векторы нижней и верхней границ ресурсов. Выходом является вектор X , входом – вектор $B = (BN, BV)$. Трудности числового моделирования элемента заключаются в специфике задачи многоуровневого планирования и получении информации для таких расчетов из реальной системы.

Прикладное многоуровневое планирование выполняется преимущественно для отдельных структурных элементов. В то же время требуется математическая модель для процедуры взаимодействия элементов и прежде всего по горизонтали. Исследованию такой модели посвящена настоящая работа.

Постановка задачи. Прикладное моделирование процедуры горизонтального согласования экономических интересов, определяемых целевыми функциями, характеризуется двумя моментами.

1. Чтобы провести расчет планов, необходимо иметь не только реальные числовые данные, но и отлаженную модель.

2. Отладка модели связана с необходимостью сочетания алгоритмов отдельных структурных элементов: значения выходов предыдущего элемента должны быть значениями входов последующих элементов.

Использование для такого моделирования задач СЛП при «движении» от первого элемента к последнему связано со следующими затруднениями:

задачи отдельных элементов могут быть несовместными и потребуются дополнительные решения;

даже если задачи отдельных элементов совместны, решения конечного элемента могут не совпасть с заданными. Добиться совпадения подбором – задача комбинаторная и не всегда успешная.

Требуется, таким образом, формирование задачи, позволяющей рассчитывать план в технологической цепочке от конца к началу и являющейся, по сути, в определенной степени задачей, обратной задаче СЛП.

В решении задачи имитации следует выделить два этапа: формирование на статистической основе описания отдельных элементов структуры, обеспечение описания их взаимодействия с позиций согласования экономических интересов.

Решение задачи. В формировании описания необходимо рассмотреть описание отдельных элементов и их связей.

Для числового моделирования отдельного автономного элемента использован алгоритм статистического синтеза Р. Габасова [2].

Алгоритм описания отдельного элемента уровня $h = 2$ с использованием задачи линейного программирования состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Задание размерности задачи.

Шаг 2. Статистический синтез числовых значений для вектора плана (выхода):

```
for j:=1 to N do
```

```
begin
```

```
  X[j]:=Rand1(30.0,50.0); /*X в пределах [Xmin, Xmax]*/*
```

```
  if X[j]<33 then
```

```
    begin
```

```
      DN[j]:=X[j];
```

```
      DV[j]:=50;
```

```
      DEL[j]:=Rand1(35.0,39.0);
```

```
    end;
```

где DEL – вектор оценок.

Шаг 3. Статистический синтез коэффициентов матрицы **A** по схеме, аналогичной использованной на шаге 2.

Шаг 4. Определение необходимых ресурсов и коэффициентов целевой функции по алгоритму, представленному следующим фрагментом 1:

Фрагмент 1

```
CX:=0;
```

```
for j:=1 to N do
```

```
begin
```

```
  C[j]:=DEL[j];
```

```
  for i:=1 to M do
```

```

C[j]:=C[j]+A[i,j]*Y[i];
CX:=CX+C[j]*X[j];
end;

```

где Y – вектор потенциалов.

Далее использован модифицированный алгоритм, в котором все перечисленные параметры неотрицательны, $DN = BN = 0$, что имеет место в организационно-экономических системах. Назовем модифицированный алгоритм исходным.

Приведем пример генерации математического описания элемента в виде задачи СЛП:

	3 <= M			3 <= N		
	C, 390.78			371.73 267.23		
	DN			DV		
0.00	0.00	0.00	363.16	274.26	310.24	
	BN			BV		
0.00	0.00	0.00	341.29	423.53	291.46	
	A					
	11.50	8.80	5.60			
	11.40	12.90	8.50			
	8.20	7.50	6.80			

Правильность формирования и достоверности результата подтверждена многочисленными решениями сгенерированных задач СЛП в рамках таблиц Excel и пакета MatLab.

Описанный алгоритм может использоваться для исследования элементов уровня $h = 1$ и применен для генерации описания:

уровня $h = 2$ в статическом и динамическом вариантах;

уровня $h = 3$.

Для формирования модели согласованной технологической цепочки в статическом варианте введены дополнительные условия $(0, BV)_k = (0, DV)_{k-1}$, $BV_k = DV_{k-1}$, где k ($k = 1, K$) – номер элемента.

Для последнего элемента значения плана вводятся в режиме диалога. В этом же режиме может быть задана и матрица A .

Для имитации процесса горизонтального согласования требуется формирование несогласованной технологической цепочки, в которой выход X и матрица A задаются в режиме диалога.

Имитировать процесс горизонтального согласования экономических интересов элементов возможно по следующему алгоритму.

Шаг 1. В соответствии с вариантом 4 находятся параметры B_1 , X_K , A , C в предположении, что интересы согласованы.

Шаг 2. Изменяются в диалоговом режиме коэффициенты целевой функции для получения «несогласованного» элемента. Этим элементом может быть, не снижая общности, первый элемент.

Шаг 3. Находятся по предложенному алгоритму значения целевых функций $G_k^{(1)}$, $k = K, 1$ от конца цепочки к началу.

Шаг 4. Определяются с помощью задач ДЛП значения целевых функций $G_k^{(2)}$, $k = 1, K$ при «движении» от начала цепочки к концу.

Шаг 5. Вычисляются величины $\Delta G_k = G_k^{(1)} - G_k^{(2)}$. Далее в соответствии с работой [1] можно использовать метод равновесия по Нэшу.

Положим, что локальные ограничения выполняются полностью.

Чтобы обеспечить план, нужно движение по цепочке от конца к началу.

Можно считать, что для элементов $k = 1, n$ величина $\Delta G_k < 0$, а для элементов $k = n + 1, K$ ($n, n + 1 \in 1, K$) $\Delta G_k > 0$.

Тогда в интересах системы в целом целесообразно дополнительный выигрыш

$$\sum_{r=n+1}^K \Delta G_r$$

перераспределить с учетом элементов $k = 1, n$ по правилу

$$\delta F_k = \frac{\sum_{r=n+1}^K |\Delta G_r| |\Delta G_k|}{\sum_{k=1}^K |\Delta G_k|}. \quad (4)$$

В этом случае компромиссным (равновесным) решением будут значения целевых функций

$$G_k = \begin{cases} G_k + \delta G_k, & k = 1, n, \\ G_k - \delta G_k, & k = n + 1, K. \end{cases} \quad (5)$$

Предложенная схема имитации обладает широкими возможностями. Укажем лишь некоторые.

1. С помощью предложенного варианта имитации возможно *учесть* временную динамическую составляющую. Для этого вводится понятие временных интервалов $r = 1, R$, на которых работает цепочка элементов. Программно интервалы вводятся циклами, число которых задается в режиме диалога. На каждом интервале вручную вводится матрица \mathbf{A} для каждого элемента. Для интервала $r = 1$ задается в диалоге план для последнего элемента в цепочке. Кроме того, для всех интервалов с индексом $r > 1$ вводится составляющая ΔB дополнительных ресурсов для корректировки плана при переходе от элемента к элементу. Результаты решения приведены в таблице, в которой первое число в названии файла – номер временного интервала, а второе число – номер задачи в цепочке. Согласование интересов может проводиться на каждом интервале времени.

2. Схема позволяет синтезировать процесс планирования для более высокого уровня иерархии ($h = 3$, руководство). Для этого сохраняются значения ресурсов (входа) B_1 и плана (выходов) X_K технологической цепочки, а эквивалентная матрица $\mathbf{A} = \mathbf{A}_1 \mathbf{A}_2 \dots \mathbf{A}_K$, где K – количество элементов в технологической линии. Коэффициенты вектора целевой функции C определяются из выражений фрагмента 1.

3. Теперь возможно провести моделирование процесса перехода на выпуск новой продукции. Пусть до момента времени $r = 1$ план определялся выражениями (1)–(3).

Пусть в момент времени $r = 1$ появляется возможность выпуска новой продукции. Новая модель уровня $h = 3$ может быть представлена выражениями

<p><u>OUT_1_1.TXT</u></p> <p>3<==N 2<==M C, CX=1031.40 108.30 111.30 92.40 DN 0.00 0.00 0.00 DV 4.00 4.00 4.00 BN 0.00 0.00 BV 26.00 30.00 A 1.00 4.00 2.00 5.00 2.00 3.00 X 4.00 4.00 4.00 Xopt 2.00 4.00 4.00 B 26.00 30.00</p>	<p><u>OUT_1_2.TXT</u></p> <p>2<==N 4<==M C, CX=77746.00 1541.00 1256.00 DN 0.00 0.00 DV 26.00 30.00 BN 0.00 0.00 0.00 0.00 BV 172.00 142.00 190.00 164.00 A 2.00 4.00 2.00 3.00 5.00 2.00 4.00 2.00 X 26.00 30.00 Xopt 26.00 30.00 B 172.00 142.00 190.00 164.00</p>
<p><u>OUT_2_1.TXT</u></p> <p>C, CX=2562.50 431.20 491.00 383.10 DN 1.00 0.00 0.00 DV 3.00 2.00 3.00 BN 15.00 18.00 BV 190.00 190.00 A 1.00 4.00 2.00 5.00 2.00 3.00 X 3.00 2.00 3.00 Xopt 1.00 2.00 3.00 B 15.00 18.00</p>	<p><u>OUT_2_2.TXT</u></p> <p>C, CX=43630.40 1153.70 960.70 DN 15.00 18.00 DV 190.00 190.00 BN 0.00 0.00 0.00 0.00 BV 134.00 109.00 135.00 118.00 A 2.00 4.00 2.00 3.00 5.00 2.00 4.00 2.00 X 190.00 190.00 Xopt 17.00 25.00 B 134.00 109.00 135.00 118.00</p>

$$\left| \begin{array}{c} \text{BN} \\ \text{BN1} \end{array} \right| \leq \left| \begin{array}{cc} \text{A} & \text{A1} \\ 0 & \text{A2} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \text{X}_h \\ \text{X1} \end{array} \right| \leq \left| \begin{array}{c} \text{BV} \\ \text{BV1} \end{array} \right|$$

$$CX_n + C1X1 \rightarrow \max, \quad (5)$$

где подматрицы $A1, A2$, векторы $C1, X1, BV1$ относятся к новой продукции.

Достоинством данного расчета является привязка верхнего уровня системы к технологической цепочке (линии).

Тогда целесообразно переходить на выпуск новой продукции при выполнении условия

$$CX_n + C1X1 \geq CX.$$

Все предложенные варианты успешно проверены на числовых примерах.

Заключение. Исходный алгоритм дал возможность имитировать процесс планирования в технологической линии в статическом и динамическом режимах. Он позволил рассмотреть процедуру согласования экономических интересов в цепочке (горизонтальное согласование), смоделировать процедуру перехода на выпуск новой продукции с одновременной экономической оценкой целесообразности такого перехода. Предлагаемый алгоритм может быть применен для процедуры отладки адаптивной автоматизированной системы управления производством.

Возможности предложенного алгоритма не исчерпаны и требуют дополнительных исследований.

Литература

1. **Советов Б. Я., Цехановский В. В., Чертовской В. Д.** Теория адаптивного автоматизированного управления. СПб.: СПбГЭТУ, 2009. 256 с.
2. **Альсевич В. В., Габасов Р, Глушенков В. С.** Оптимизация линейных экономических моделей. Статические задачи. Мн.: БГУ, 2000. 210 с.