Козулина Н.С., Сныткова Т.А., Василенко А.В., Михайлец М.А., Липшин А.Г., Таран О.П. Разработка азотсодержащего удобрения на основе коры сосны и изучение его эффективности при выращивании пшеницы в земледельческой зоне Красноярского края // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. – 2020. – Т. 13. – № 4. – С. 578-592.

3. Аристов Ю.И., Гордеева Л.Г., Токарев М.М. Композитные сорбенты «соль в пористой матрице»: синтез, свойства, применение // Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т катализа им. Г.К. Борескова. – Новосибирск: Издательство СО РАН. – 2008. – 362 с.

4. Socrates G. Infrared and Raman characteristic group frequencies: Tables and charts // John Wiley – Sons. – 2004. – 347 p.

УДК 004.021

П.В. Бернацкий, И.А. Алексеев, В.В. Смелов
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

ПЛОТНЫЙ НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСКРОЙ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ: ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ

Аннотация. *В статье формально описан алгоритм плотного раскроя поверхности произвольной формы на фрагменты заданной формы, предназначенный для применения в массовом производстве. Сформулированы числовые характеристики алгоритма позволяющие оценить его эффективность*.

P.V. Bernacki, I.A. Alekseev, V.V. Smelov
Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

DENSE NONLINEAR CUTTING OF A FLAT SURFACE OF ARBITRARY SHAPE: FORMAL DESCRIPTION

Abstract. *The article formally describes an algorithm for dense cutting of a surface of arbitrary shape into fragments of a given shape, intended for use in mass production. Numerical characteristics of the algorithm are formulated to evaluate its effectiveness*.

Введение. Алгоритм плотного нелинейного раскроя плоской поверхности произвольной формы (далее АПР) применяется при раскрое кожи (производство обуви, одежды и мебели), раскрое дерева (производство изделий из дерева) и раскрое металла (металлообработка). Некоторые предприятия Республики Беларусь используют проприетарное зарубежное программное обеспечение, реализующее этот алгоритм, в которое в силу лицензионного соглашения невозможно самостоятельно вносить изменения. Это приводит к тому, что через некоторое время программное обеспечение морально устаревает и перестает устраивать пользователя по ряду показателей. В Республике Беларусь не осуществлялась разработка подобного алгоритма. Предлагаемое далее формальное описание АПР ориентировано на применение его в массовом производстве, в технологическом цикле которого применяется раскрой плоского материала.

АПР относится к классу трудоемких задач (NP-задача) [1], не имеющих общепринятого решения. В общем случае задача не имеет оптимального решения в виду того, что для его вычисления потребуются неоправданно большие вычислительные ресурсы и/или чрезмерное время. Обычно для решения таких задач применяются эвристические алгоритмы, основанные на переборе [2] вариантов раскроя.

Формальное описание алгоритма. Рассмотрим множество поверхностей $P = \left\{p_i, i = \overline{1,n}\right\}$, для которых задан способ вычисления их меры $\|p_i\|$ (значение в общем случае не совпадает с площадью). Поверхности P представляют собой простые многоугольники (далее, полигоны). Известно также множество $L = \left\{l_j, j = \overline{1,m}\right\}$ с вычислимыми мерами $\|l_j\|$, служащих образцами (лекалами) для раскроя поверхностей P. Будем далее предполагать, что $\forall(p,l)|p \in P, l \in L: \|p\| > \|l\|$.

В результате раскроя поверхности p_i образуются полигоны подобные $l \in L$, которые будем называть деталями. В производстве детали служат для производства изделия (предполагаем, что изделие единственное), которое состоит (включает в себя, применяет) несколько деталей, причем некоторые детали могут входить в изделие несколько раз. Введем множество $K = \left\{k_j, j = \overline{1,m}\right\}$, каждый элемент k_j которого является кратностью вхождения детали в изделие.

В общем случае операция раскроя одной и той же поверхности p_i осуществляться несколько раз. Будем говорить о вариантах (попытках) раскроя $v_i^t = \langle p_i, L_i^t \rangle$, где t – номер варианта, а $L_i^t = \{l_{i,r}^t, r = \overline{1, r_i^t}\}$ – множество полигонов $l_{i,r}^t = \alpha_{i,r}^t(l),\ l \in L$, полученных в результате выбора из множества L лекала l и аффинного его преобразования $\alpha_{i,r}^t$. Будем считать, что $\left\|l_{i,r}^t\right\| = \|l\|$, а величину $\left\|L_i^t\right\| = \sum_{r=1}^{r_i^t}\left\|l_{i,r}^t\right\|$ будем называть мерой множества L_i^t. Будем также предполагать, что множество L_i^t обладает свойством полноты, которое означает, что $\nexists l \in L | \left\|l \cup L_i^t\right\| \le p_i$. Другими словами, мера объединения множества L_i^t с любым элементом (лекалом) множества L превышает меру поверхности p_i.

Ограничим максимальное количество попыток (вариантов) раскроя величиной $\bar{t}$ и введем множество $V_i = \{v_i^t, t = \overline{1, t_i}\},\ t_i \le \bar{t}$ вариантов раскроя. Введем меру эффективности для вариантов раскроя $\mu(v_i^t) = \frac{\|L_i^t\|}{\|p_i\|}$ и величину $\bar{\mu}$, которую будем назвать достаточной эффективностью варианта.

Обозначим процедуру формирования варианта v_i^t, оператором **gen** и будем записывать: $v_i^1 = \mathbf{gen}(p_i, L, K),\ v_i^2 = \mathbf{gen}(p_i, L, K),\ \ldots,$ $v_i^{t_i} = \mathbf{gen}(p_i, L, K),\ \ t_i \le \bar{t}$. Аргументами оператора **gen** являются $p_i \in P$ – поверхность, множество образцов L и множество K описывающее кратность образцов. Будем далее предполагать, что при каждом выполнении **gen** случайным образом формируется вариант v_i^t (оператор не является детерминированным). Другими словами, при каждом выполнении **gen** случайным образом генерируется множество L_i^t, но при этом обладающее свойством полноты. Кроме того, распределение вероятностей подобрано таким образом, что вероятность выбора образца $l_j \in L$ при формировании L_i^t пропорционально величине $k_j \in K$ – кратности соответствующей детали.

Введем оператор **while** описывающий принцип построения ранее введённого множества вариантов раскроя V_i. Запись $V_i = \mathbf{while}\big(\mu(\mathbf{gen}(p_i, L, K) < \bar{\mu})\big), t \le \bar{t})$ обозначает цикл выполнения оператора **gen** и два условия, при выполнении которых, цикл генерации вариантов v_i^t продолжается. Первое условие $\mu(\mathbf{gen}(p_i, L, K) < \bar{\mu})$: эффективность сгенерированного варианта меньше достаточной $\bar{\mu}$. Второе условие $t \le \bar{t}$: количество сгенерированных вариантов не превышает максимальное количество попыток раскроя величиной $\bar{t}$.

Если нарушено первое условие, то множество V_i дополняется вариантом $v_i^{t_i}$, эффективность которого $\mu(v_i^{t_i}) \ge \bar{\mu}$. Если нарушено второе условие, то V_i дополняется вариантом $v_i^{\bar{t}}$. В обоих случаях генерация вариантов останавливается.

Построим множество $\bar{V} = \{\bar{v}_i, i = \overline{1,n}\}$, содержащее варианты $\bar{v}_i$ выбранные по одному из множеств V_i в соответствии со следующим выражением: $\bar{v}_i = \begin{cases} v_i^{t_i}, t_i < \bar{t} \\ \max\limits_{\mu(v_i^t)}\{v_i^t, t = \overline{1,t_i}\},\ t_i = \bar{t} \end{cases}$ где $v_i^{t_i} \in V_i$, $i = \overline{1,n}$.

Другими словами, элементы $\bar{v}_i = \langle p_i, \bar{L}_i \rangle$ – это наиболее эффективные варианты (попытки) раскроя поверхностей P.

Для множеств $\bar{V}$ и P определим меры $\|\bar{V}\| = \sum_{i=i}^{n}\|\bar{L}_i\|$ и $\|P\| = \sum_{i=i}^{n}\|p_i\|$, а также эффективность $\mu(\bar{V}) = \frac{\|\bar{V}\|}{\|P\|}$.

Сформулируем две характеристики алгоритма плотного нелинейного раскроя плоской поверхности произвольной формы: $\mu_{\text{АПР}} = \mu(\bar{V})$ – плотность раскроя (с повышением плотности раскроя снижаются производственные издержки), $T_{\text{АПР}} = \frac{1}{n}\sum_{i=i}^{n} t_i$ – среднее количество попыток затраченных на раскрой 1 поверхности (чем выше среднее количество попыток, тем медленнее работает программное обеспечение, реализующее алгоритм).

Заключение

1. АПР ориентирован на массовое производство: характеристики алгоритма позволяют адекватно оценить его эффективность только при многократном применении. Характеристики могут быть использованы заказчиком при формулировке требований к алгоритму.

2. Очевидно, что характеристики $\mu_{\text{АПР}}$ и $T_{\text{АПР}}$ являются взаимозависимыми, повышение значения одной из них влечет снижение другой.

3. Два параметра алгоритма: $\bar{\mu}$ (достаточная эффективность варианта) и $\bar{t}$ (максимальное количество вариантов) могут быть использованы для настройки работы алгоритма.

4. Выполнение процедур, реализующих оператор **gen,** допускает их одновременное (независимое) выполнение, что может существенно улучшить значение характеристики $T_{\text{АПР}}$.

Список использованных источников

1. Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. Алгоритмы: построение и анализ. М.: МЦМНО: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 960 с.

2. В. В. Смелов, А. И. Бракович. Комбинаторные алгоритмы оптимизации. – Минск: БГТУ, 2011. – 178 с.