

Модификация метода идентификации и прослеживаемости сложных технических изделий с применением алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ *

А. В. Токарева, Д. В. Кручинин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

Аннотация: С развитием информационных технологий автоматизация производственных, технологических, управленческих процессов становится неотъемлемой частью функционирования предприятий. Это повышает не только качество производимых изделий, но и способствует оперативному устранению проблем на управленческом уровне, «прозрачности» в деятельности предприятия. Одними из систем, решающих задачу оперативного управления качеством изделий, являются системы прослеживаемости и идентификации. В статье отражена модификация оригинального метода идентификации и прослеживаемости с использованием алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ. Метод предполагает представление информации о типе изделия в виде дерева И/ИЛИ по подхарактеристикам с дальнейшей возможностью генерации идентификационного номера типа изделия. Полученный метод обладает научной новизной, которая заключается в гибкости системы за счет выделения поддеревьев с информацией о комплектах для заполнения предприятиям-поставщикам.

Ключевые слова: комбинаторная генерация, прослеживаемость, идентификация, деревья И/ИЛИ, менеджмент качества, сложное техническое изделие, автоматизация, ранжирование.

Для цитирования: Токарева А. В., Кручинин Д. В. Модификация метода идентификации и прослеживаемости сложных технических изделий с применением алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ // Вестник СибГУТИ. 2024. Т. 18, № 3. С. 73–85. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2024-18-3-73-85>.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0
License

© Токарева А. В., Кручинин Д. В., 2024

Статья поступила в редакцию 23.01.2024;
переработанный вариант – 21.03.2024;
принята к публикации 31.03.2024.

1. Введение

В настоящее время автоматизация производственных, технологических и управленческих процессов играет важную роль в деятельности предприятия. Прежде всего это связано с разнообразием технических решений в виде программного обеспечения, а также необходимостью своевременного контроля всех аспектов работы предприятия.

Одним из направлений, в котором широко применяются новые технологии, является менеджмент качества продукции. Понятие «менеджмент качества» согласно ГОСТ ИСО 9000-2015 – это менеджмент применительно к качеству [1]. Данное понятие является комплекс-

*Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 22-71-10052).

ным и включает в себя разработку политики, целей в области качества посредством планирования, обеспечения, управления и улучшения процессов на предприятии. Одним из элементов менеджмента качества является качество производимой продукции. Создание продукта – это многоэтапный процесс, который связан с большим количеством факторов. Поэтому качество выпускаемой продукции является ключевым показателем работы предприятия, а современное понятие «качество» включает в себя не конечное мнение ключевого потребителя о продукте, а более сложную структуру, которая подразумевает под собой качество управления, конечного продукта, поставок и работы сотрудников, а также унификацию производственных процессов.

Предприятия часто сталкиваются с многочисленными проблемами, связанными с недостатком информации о том, что происходит с продукцией во время сборки и производства. Из-за отсутствия актуальной информации о том, на каком этапе производства находится партия изделий, какие материалы и комплектующие были использованы, могут возникнуть негативные последствия: нарушение технологии производства, сбой в планировании закупок, невозможность управления жизненным циклом продукта. Такая специфика проблем характерна для предприятий, производящих сложные технические изделия, отличающиеся продолжительным временем создания, использованием наукоемких технологий, большим количеством поставщиков комплектующих. Решением указанных проблем становится внедрение системы принципов идентификации и прослеживаемости продукции, которая в настоящее время является обязательным и основным элементом системы менеджмента качества применительно к продукции.

Принцип идентификации подразумевает присвоение каждому продукту уникального признака, по которому его можно отличить от остальных. Особенности данного принципа являются нацеленность на конечный результат благодаря установлению тождественности, систематизации и кластеризации производимой на предприятии продукции.

Принцип прослеживаемости подразумевает возможность отслеживания движения, местонахождения и происхождения продукции на всех стадиях производства, обработки и распределения. Движение продукции может относиться к происхождению сырья, истории обработки или ее распределения [2].

Согласно исследованиям современная концепция идентификации и прослеживаемости продукции появилась вследствие начала применения высоких технологий в различных сферах деятельности [3]. Изначально особое внимание уделялось таким сферам производства, как пищевая промышленность, сельское хозяйство, тяжелая промышленность. В настоящее время данные принципы автоматизированы, и независимо от производства на предприятиях применяются автоматизированные системы идентификации и прослеживаемости (СИиП).

Говоря об определении системы прослеживаемости и идентификации как программного средства, В. А. Носенко [4] отмечает, что это автоматизированная система, которая позволяет собирать, контролировать и анализировать информацию о технологических операциях, персонале и ресурсах, задействованных в процессе производства. Основным отличием данного вида программного обеспечения является сложность структуры в связи с необходимостью обеспечения строгой взаимосвязи между информационным (данные о сырье, комплектующих и т.д.) и физическим (непосредственно комплектующие, сырье и т.д.) потоками.

В большей части таких систем применяется технология «блокчейн», которая описана рядом зарубежных и отечественных авторов [5–8]. Данная технология подразумевает представление производства в виде «цепочки» последовательных процессов, которые позволяют отследить все этапы создания изделия, а также отобразить данные, напрямую связанные с самим изделием.

С точки зрения идентификации в настоящее время практически все производства используют несколько основных способов идентификации: идентификационный номер, штриховое линейное и двумерное кодирование, радиочастотные метки. Набор инструментов для генерации идентификаторов обширен: это могут быть интегрированные в систему программы,

которые автоматически создают штрих-коды, отдельные библиотеки в языках программирования и даже генераторы открытого доступа в сети Интернет [9–13].

В связи с тем, что внедрение принципов прослеживаемости и идентификации на предприятии является обязательным условием для их деятельности, автоматизированная система не только повышает эффективность применения данных принципов и делает процесс производства «прозрачным», но также позволяет оперативно принимать решения по возникающим внештатным ситуациям.

2. Цель и методы исследования

В настоящее время рынок отечественных систем идентификации и прослеживаемости представлен большим количеством программ. Из наиболее крупных можно выделить программные продукты компаний Клеверенс, ДатаПермь, 1С, Честный знак. При этом основной набор выполняемых функций обширен и практически аналогичен:

- идентификация поступающих на предприятие материалов и комплектующих (обеспечение привязки поставок материалов и комплектующих к системе хранения и перемещения предприятия);
- прослеживание использования промаркированных материалов и комплектующих в процессе изготовления продукции;
- обеспечение информацией для своевременного изъятия из производства изделий и материалов, которые не удовлетворяют установленным требованиям;
- идентификация отдельного изделия (выбор технологии маркировки, генерация штрих-кодов, подготовка для нанесения, возможность отображения информации об уникальном изделии);
- отслеживание использования готовой продукции (возможность контроля пути изделия от создания до реализации конечному пользователю).

Однако у таких систем есть ряд проблем: отсутствие универсальности (система настраивается под конкретное производство), большой объем хранимой и динамически растущей информации, не все виды идентификации позволяют хранить полный объем информации об изделии как для работников, так и для покупателя. Решение первой проблемы находится в настройке программного обеспечения под нужды предприятия, однако вопросы, связанные с хранением информации об изделии и отображением через идентификатор необходимой информации, возможно решить через внедрение нового математического аппарата.

Целью данного исследования является модификация метода идентификации и прослеживаемости сложных технических изделий с использованием алгоритмов комбинаторной генерации, основанных на деревьях И/ИЛИ.

Как самостоятельное направление комбинаторная генерация описана Ф. Раски [14], где выделены следующие четыре задачи над комбинаторными множествами:

- listing – последовательная генерация элементов рассматриваемого комбинаторного множества;
- ranking – ранжирование (нумерация) элементов рассматриваемого комбинаторного множества;
- unranking – генерация элементов рассматриваемого комбинаторного множества в соответствии с их рангами (номераами);
- random selection – генерация элементов рассматриваемого комбинаторного множества в случайном порядке.

Понятие дерева И/ИЛИ было введено Д. Слейглом [15] для построения системы взятия интегралов в символьном виде. Подробно сущность деревьев И/ИЛИ описана в работах В. В. Кручинина [16,17] и подразумевает под собой древовидную структуру представления множества, которая содержит узлы двух типов: И-узел и ИЛИ-узел. Графическое представление И-узла отличается от ИЛИ-узла тем, что все ветви, ведущие к потомкам И-узла, объ-

единяются дугой. В свою очередь, вариантом дерева И/ИЛИ называется дерево, которое получается из данного путем отсечения всех дуг, кроме одной, у всех ИЛИ-узлов (рис. 1).

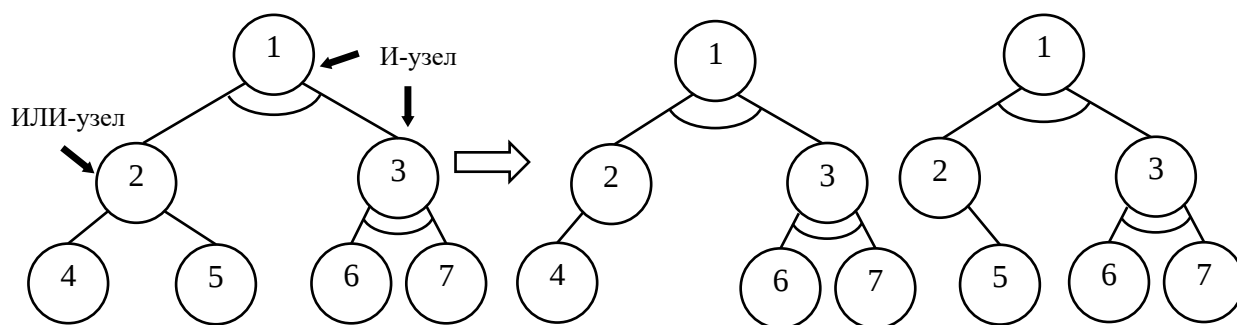


Рис. 1. Пример дерева И/ИЛИ и всех его вариантов

При этом существуют ограничения, влияющие на возможность применения алгоритмов комбинаторной генерации с использованием структур деревьев И/ИЛИ: функция мощности рассматриваемого комбинаторного множества должна принадлежать алгебре $\{\mathbb{N}, +, \times, R\}$, где R – оператор примитивной рекурсии. В основе логики работы алгоритмов ранжирования и генерации по рангу вариантов дерева И/ИЛИ лежит функция $l(z)$, которая вычисляет значение ранга поддерева для заданного узла z . Правила вычисления значения $l(z)$ зависят от типа узла z :

– если z является листом, то $l(z) = 0$;

– если z является ИЛИ-узлом, то $l(z) = l(s_k^{(z)}) + \sum_{i=1}^{k-1} w(s_i^{(z)})$, где $w(s_i^{(z)})$ показывает количество всех вариантов для поддерева i -го потомка узла z , а k показывает порядковый номер выбранного в варианте потомка узла z среди всех n его потомков;

– если z является И-узлом, то $l(z) = l(s_1^{(z)}) + w(s_1^{(z)}) \cdot \left(\dots \left(l(s_{n-1}^{(z)}) + w(s_{n-1}^{(z)}) l(s_n^{(z)}) \right) \dots \right)$.

Тогда алгоритм ранжирования варианта дерева И/ИЛИ представляет собой вычисление значения $l(z)$, где z является корневым узлом структуры дерева И/ИЛИ. Алгоритм генерации варианта дерева И/ИЛИ по его рангу базируется на обратных преобразованиях.

Метод идентификации и прослеживаемости, описанный в работе [17], позволяет представить всю информацию об изделии в виде дерева И/ИЛИ и с помощью алгоритма Rank сгенерировать идентификационный номер, являющийся ссылкой на данные об изделии (рис. 2). Под изделием в данном методе подразумевается тип изделия, то есть совокупность производимых изделий, обладающих идентичными характеристиками. В случае необходимости получения информации по конкретному изделию можно восстановить ветку дерева с полным описанием, используя алгоритм Unrank. Прослеживаемость в данном методе представляет собой возможность представить информацию об изделии в виде цепочки взаимосвязанной информации, начиная с использованных комплектующих и заканчивая серийным номером конкретного готового изделия.

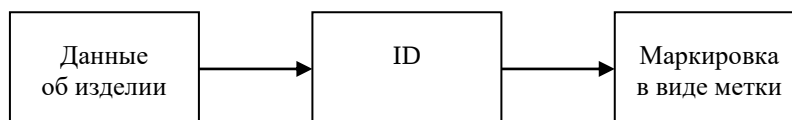


Рис. 2. Этапы генерации идентификатора

Однако данный метод подходит для фиксированных множеств, а существующая программная реализация метода устарела. Кроме того, нанесение полученного идентификаци-

онного номера не всегда актуально, особенно на серийных производствах с большими объемами производимых изделий, так как в некоторых сферах в обязательном порядке используется маркировка с применением штрихового кодирования или радиочастотных меток.

3. Основные результаты

Предлагается следующая модификация оригинального метода, отличительными особенностями которого являются гибкость системы идентификации и прослеживаемости за счет предоставления возможности на заполнение информации о комплектующих изделия предприятиям-поставщикам и определение резервных позиций в справочниках характеристик.

Шаг 1. Определение характеристик рассматриваемых изделий.

Для того, чтобы представить изделия в виде структуры дерева И/ИЛИ, необходимо определить множество характеристик изделий (под характеристиками понимаются комплектующие изделия и параметры, идентифицирующие полное представление изделия). Помимо этого, определяются взаимосвязи между характеристиками изделий (в изделии используется либо одна из перечня возможных характеристик, либо их комбинация).

Шаг 2. Представление модели изделий в виде структуры дерева И/ИЛИ.

Каждая характеристика изделий представляется ИЛИ-узлом, если подразумевается использование одной из перечня возможных ее подхарактеристик, либо И-узлом, если подразумевается использование комбинации всех ее подхарактеристик. Лист дерева – это характеристика, которая далее не декомпозируется. Также при формировании дерева И/ИЛИ создаются справочники для каждого из узлов, которые позволяют раскрыть информацию об их потомках, то есть содержат подробную информацию о каждой характеристике изделий.

Шаг 3. Определение резервных позиций в справочниках характеристик.

Под резервными позициями понимаются потомки ИЛИ-узлов, которые изначально не содержат описание какой-либо подхарактеристики и, следовательно, обладают пустой записью в соответствующем справочнике характеристик (рис. 3).

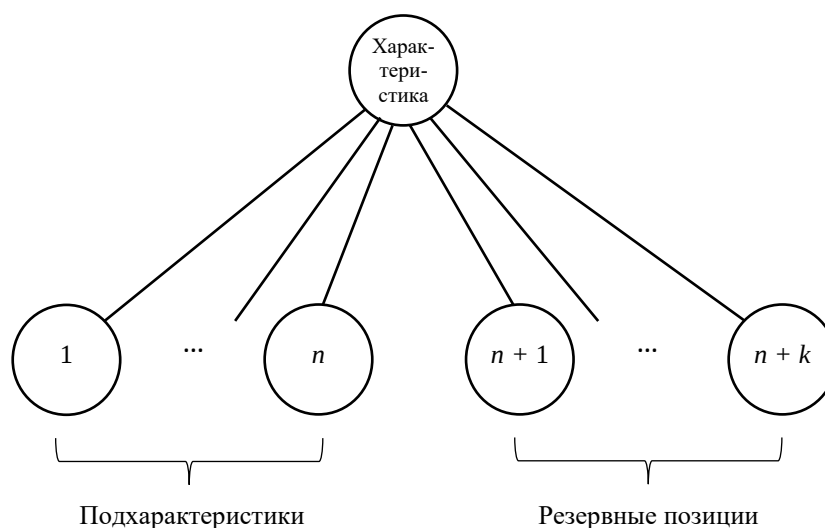


Рис. 3. Резервные позиции в справочниках характеристик

В дальнейшем такие резервные позиции в справочниках характеристик можно заполнить необходимой новой информацией, при этом структура дерева И/ИЛИ и количество его вариантов не изменится, пример справочника приведен в табл. 1. Количество резервных позиций определяется индивидуально по потребностям предприятия, например, в зависимости от частоты обновления поставщиков.

Таблица 1. Представление справочника

1	Описание подхарактеристики 1
2	Описание подхарактеристики 2
...	...
n	Описание подхарактеристики n
$n + 1$	Резерв 1
...	...
$n + k$	Резерв k

Шаг 4. Определение характеристик, предоставляемых предприятиями-поставщиками.

На данном шаге определяются необходимые для прослеживаемости и идентификации изделия характеристики от предприятий-поставщиков комплектующих. Таким образом, каждое предприятие-поставщик выполняет Шаги 1–3 данного метода в рамках поддерева узла предоставленной ему характеристики. В свою очередь, это позволяет предприятию не углубляться самостоятельно в декомпозицию отдельной характеристики, делегировав выполнение задачи специализирующемуся на данной характеристике предприятию-поставщику. В зависимости от количества разных предприятий-поставщиков, предоставляющих информацию о поддереве узла одной характеристики, возможны следующие ситуации:

1) для рассматриваемой характеристики имеется дерево $D(P)$ от единственного предприятия-поставщика, тогда корень дерева $D(P)$ становится потомком узла, соответствующего данной характеристике (рис. 4);

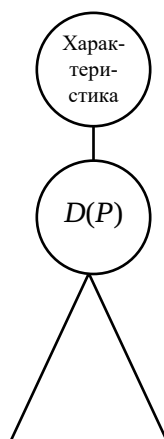
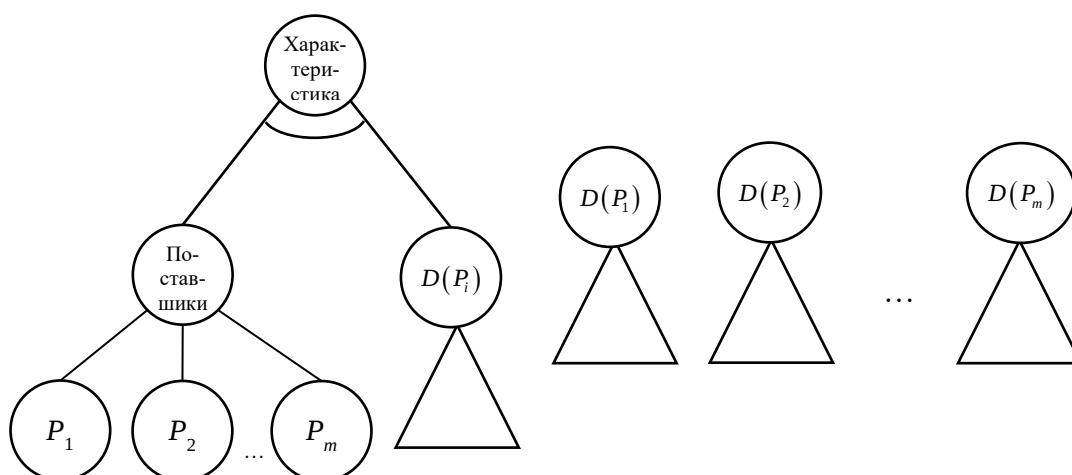


Рис. 4. Представление информации о характеристике от одного предприятия-поставщика

2) для рассматриваемой характеристики имеется m деревьев $D(P_1), D(P_2), \dots, D(P_m)$ от m предприятий-поставщиков, тогда узел, соответствующий данной характеристике, представляется И-узлом с двумя потомками, первый из которых – ИЛИ-узел с информацией о выбранном предприятии-поставщике P_i , а второй – поддерево $D(P_i)$ с информацией о характеристике от выбранного предприятия-поставщика P_i (рис. 5).

В данном случае деревья $D(P_1), D(P_2), \dots, D(P_m)$ предприятий-поставщиков с информацией о характеристике могут иметь разный вид. Однако для корректной работы алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ деревья $D(P_i)$ должны иметь одинаковое количество вариантов, то есть $w(D(P_1)) = w(D(P_2)) = \dots = w(D(P_m))$.

Рис. 5. Представление информации о характеристике от m предприятий-поставщиков

Если данное условие не выполняется, то необходимо выполнить следующее преобразование структуры дерева И/ИЛИ:

- находим дерево с максимальным количеством вариантов $M = \max_i (w(D(P_i)))$;
- для каждого дерева $D(P_i)$: если $w(D(P_i)) < M$, то взамен дерева $D(P_i)$ строится дерево $D^*(P_i)$, содержащее M вариантов за счет добавления $M - w(D(P_i))$ фиктивных потомков-листов (рис. 6).

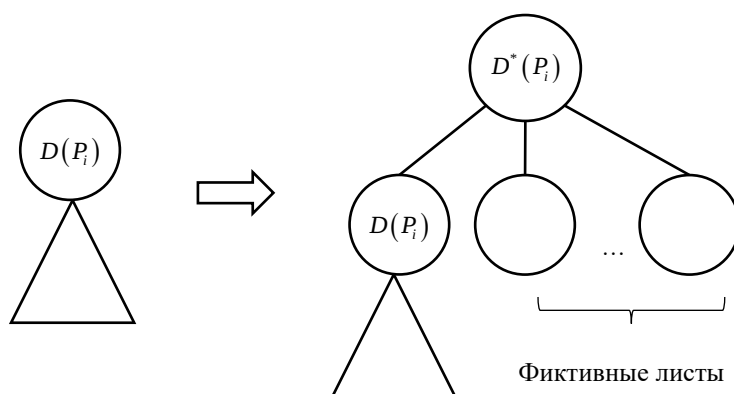


Рис. 6. Добавление фиктивных узлов

Шаг 5. Сбор общей структуры дерева И/ИЛИ.

Композиция дерева И/ИЛИ от предприятия и деревьев И/ИЛИ от предприятий-поставщиков с добавлением всех требуемых резервных и фиктивных позиций формируют общую структуру дерева И/ИЛИ для модели рассматриваемых изделий. Общая структура дерева И/ИЛИ представляет собой совокупность всех теоретически возможных вариантов производства изделий, при этом конкретный тип изделия можно получить путем построения одного варианта дерева И/ИЛИ.

Шаг 6. Применение алгоритма Rank для генерации идентификационного номера.

Сопоставив заданное изделие с одним из вариантов дерева И/ИЛИ, можно сгенерировать идентификационный номер изделия с помощью алгоритма комбинаторной генерации Rank. Сгенерированный идентификатор заносится в базу данных и наносится на изделие в виде некоторой метки, которая может быть представлена как в виде нанесенного номера, так и в формате двумерного штрихового кода (QR-код).

Если возникает ситуация, что приборы имеют одинаковый идентификатор (то есть идентичны по всем характеристикам и относятся к одному и тому же типу изделия), можно использовать сгенерированный ранг в сочетании с порядковым номером прибора.

Шаг 7. Применение алгоритма Unrank для получения информации об изделии.

При необходимости получения информации по конкретному изделию с помощью алгоритма комбинаторной генерации Unrank по идентификационному номеру генерируется вариант дерева И/ИЛИ со всеми характеристиками данного изделия.

Шаг 8. Интерпретация полученных результатов.

Выполняется представление полученной информации по конкретному изделию в понятном пользователю виде путем сопоставления варианта дерева И/ИЛИ с данными из справочников характеристик изделий. Так как из-за большого количества характеристик вариант дерева может быть большим и неудобным для чтения, то информацию о нем можно представить в виде таблицы.

Преимущества предложенного модифицированного метода по сравнению с оригинальным заключаются в следующем:

1. Дает гибкость системы идентификации и прослеживаемости с помощью разграничения узлов основного предприятия и предприятий-поставщиков комплектующих.
2. Позволяет хранить и собирать больше информации об изделии без изменения структуры дерева И/ИЛИ благодаря заложенному в нем резерву, что влияет на точность и оперативность принятия решений в случае нештатных ситуаций.
3. Уменьшает объем хранимой информации за счет использования справочников-классификаторов.
4. Позволяет разграничивать доступ к информации лицам, принимающим решения.

Применение данного метода в качестве основы программного модуля для автоматизированных систем управления подходит для производств, на которых создаются сложные технические изделия, обладающие большим количеством комплектующих и продолжительным процессом создания (например, ракетостроение, электроника и другие наукоемкие предприятия). При этом с точки зрения программной реализации для хранения и обработки структуры дерева И/ИЛИ можно использовать разные структуры данных. Одним из таких вариантов является реализация самостоятельных структур данных для дерева И/ИЛИ и для варианта дерева И/ИЛИ. Тогда в оперативной памяти структура дерева И/ИЛИ и его варианты будут храниться как экземпляры соответствующего класса, а их хранение в постоянной памяти организовывается путем сериализации экземпляров классов. В качестве еще одного способа представления структуры дерева И/ИЛИ является организация структуры связного списка списков, где каждый узел дерева И/ИЛИ содержит информацию о типе узла и список указателей на потомков данного узла. Тогда в постоянной памяти структура дерева И/ИЛИ и его варианты могут храниться как текстовая строка правильной скобочной последовательности, где каждая пара открытой и закрытой скобок соответствует одному узлу дерева И/ИЛИ, а вложенность скобок описывает иерархическую структуру узлов дерева И/ИЛИ. Кроме того, структуре дерева И/ИЛИ можно однозначно сопоставить структуру реляционной базы данных, а совокупность связанных записей такой базы данных будет соответствовать конкретному варианту дерева И/ИЛИ. Использование последнего способа представления структуры дерева И/ИЛИ и его вариантов позволяет эффективно организовать процессы их обработки, в том числе поиск вариантов дерева И/ИЛИ с заданными характеристиками, за счет наличия соответствующего функционала в области работы с реляционными базами данных.

Представим применение предложенного метода на абстрактном сложном техническом изделии. Допустим, на предприятии производятся приборы, которые имеют n деталей в верхнем И-узле. Рассмотрим дочерний И-узел «Деталь 1». «Деталь 1» включает в себя две основных детали и технологию производства. Потомок И-узла «Деталь 1.1» представляет собой И-узел с информацией об этой детали от предприятия-поставщика. При этом левый потомок (ИЛИ-узел «Поставщик») содержит в себе конечные листья с наименованиями поставщиков детали, а правый узел (узел «1») передается поставщику на самостоятельное выполнение. Модель полученной структуры дерева И/ИЛИ представлена на рис. 7.

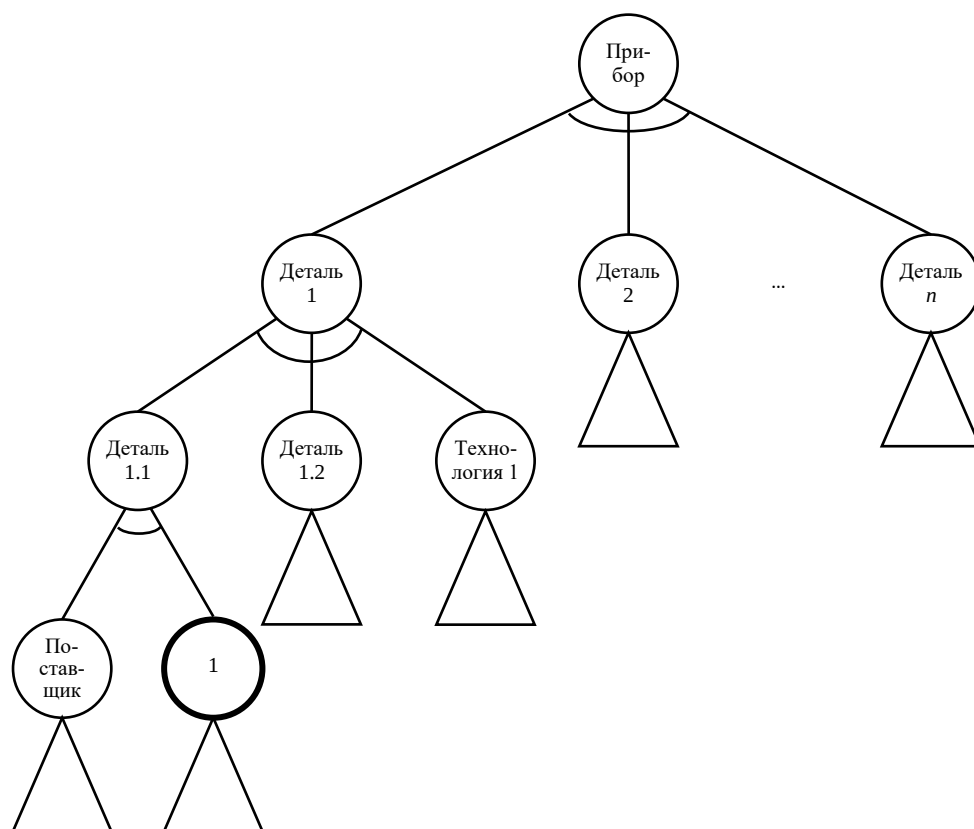


Рис. 7. Представление информации о приборе в виде дерева И/ИЛИ

Узел «1», выделяемый для заполнения предприятием-поставщиком, может иметь разную структуру. Примеры таких структур представлены на рис. 8.

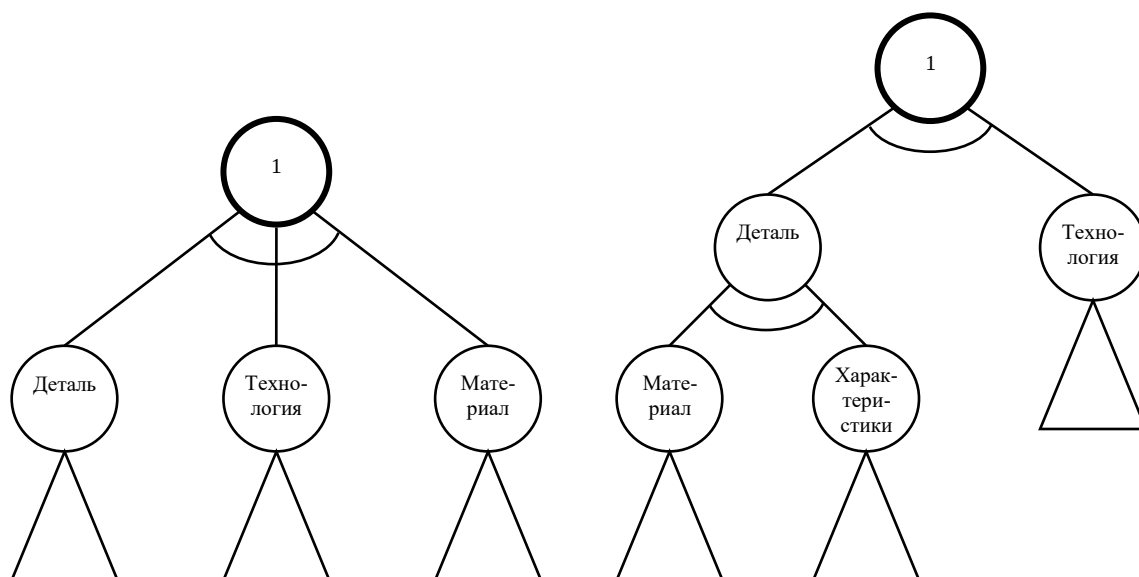


Рис. 8. Возможные варианты структуры узла от предприятия-поставщика

При заданном дереве И/ИЛИ с информацией о приборе можно выполнить алгоритм Rank и получить идентификационный номер прибора, который возможно использовать как в качестве нанесенного на прибор идентификатора, так и для занесения в базу данных. При имеющемся идентификаторе выполняется обратный алгоритм Unrank и строится вариант дерева с данными об этом приборе.

4. Заключение

Управление качеством производимой продукции во многом зависит от комплектующих, стандартизации технологических процессов, возможности отследить путь изделия от производства до реализации. В настоящее время на предприятиях автоматизированы и внедрены в обязательном порядке принципы идентификации и прослеживаемости. Это позволяет повысить оперативность принятия решения в случае нештатных ситуаций, а также сделать процесс производства более прозрачным.

В данной работе предложен модифицированный метод идентификации и прослеживаемости изделий, основанный на использовании алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ, а также представлен пример модели древовидной структуры для абстрактного сложного технического изделия. Преимущества использования данного метода заключаются в гибкости системы идентификации и прослеживаемости, уменьшении объема хранимой информации. Применение данного метода возможно в дальнейшем в качестве одного из программных модулей автоматизированных систем управления, а точнее систем идентификации и прослеживаемости продукции.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2015: Национальный стандарт Российской Федерации «Системы менеджмента качества». Москва, 2015.
2. Савинкова Е. А., Гусева И. В., Пиркина О. В. Идентификация и прослеживаемость продукции как одно из основных требований при внедрении системы управления качеством на примере предприятия ООО «Шик» Чувашской республики // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2016. Т. 2, № 4. С. 40–43.
3. Дравица В., Курбацкий А. Промышленная революция Industry 4.0 // Наука и инновации. 2016. № 3. С. 13–16.
4. Носенко В. А., Силаев А. А., Евремкин С. И., Гредников С. Б. Исследование инструментов идентификации автоматизированной системы прослеживаемости сборочного производства // Сборник материалов X Международной научно-технической конференции «Инновации в машиностроении». Кемерово, 26–29 ноября, 2019. С. 199–204.
5. Wang S., Dongyl L., Zhang Y., Chen J. Smart contract-based product traceability system in the supply chain scenario // IEEE Access. 2019. V. 7. P. 115122–115133.
6. Турсунходжаев М. Л., Загребельская М. В. Некоторые аспекты использования блокчейн-технологии в целях оптимизации цепочек поставок // Трансформация моделей корпоративного управления в условиях цифровой экономики. 2022. № 1. С. 1–4.
7. Hong W., Cai Y., Yu Z., Yu X. An agri-product traceability system based on IoT and blockchain technology // Proc. IEEE International Conference on Hot Information-Centric Networking (HotICN), Shenzhen, China, August 15–17, 2018. P. 254–255.
8. Тимчук Е. Г. Применение технологии блокчейн в целях обеспечения прослеживаемости пищевой продукции: текущее состояние и перспективы // Научные труды Дальрыбвтуза. 2022. Т. 61, № 3. С. 13–20.
9. Коробко И. Генерация штрих-кода EAN-13 // Системный администратор. 2012. № 5. С. 74–78.
10. Стариков А. В., Стародубцева Т. Н., Батурин К. В., Поляков С. Ю. Автоматизация идентификации и учета деталей мебельного производства с использованием системы штрихового кодирования // Лесотехнический журнал. 2013. № 2. С. 138–149.
11. Карев В. А., Кравец А. Г. Разработка алгоритма генерации QR-кода для онлайн платежей // Системный анализ в науке и образовании. 2019. № 1. С. 1–6.

12. *Абрамович В. В., Брумитейн Ю. М., Шипилова О. В.* Двумерные графические коды: анализ информационной емкости, способов генерации, направлений применения // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2019. № 1. С. 10–33.
13. *Абрамович В. В., Брумитейн Ю. М.* Одномерные (линейные) графические коды: анализ способов генерации, традиционных и новых направлений применения, вопросов информационной безопасности использования // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2018. № 3. С. 19–36.
14. *Ruskey F.* Combinatorial generation. Working version (1j-CSC 425/520). 2003. 311 p. URL: <https://page.math.tu-berlin.de/~felsner/SemWS17-18/Ruskey-Comb-Gen.pdf> (дата обращения: 20.01.2024).
15. *Slagle J.* A heuristic program that solves symbolic integration problem in freshman calculus // Journal of the ACM. 1963. V. 10, № 4. P. 507–520.
16. *Кручинин В. В., Люкшин Б. А.* Метод кодирования информационных объектов на основе деревьев И/ИЛИ // Доклады ТУСУР. 2010. № 1. С. 170–172.
17. *Кручинин В. В.* Методы, алгоритмы и программное обеспечение комбинаторной генерации: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.11. Томск, 2010. 387 с.

Токарева Алина Вячеславовна

младший научный сотрудник лаборатории алгоритмов и технологий исследования дискретных структур, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР, 634050, Томск, пр. Ленина, д. 40), e-mail: alina.v.tokareva@tusur.ru, ORCID ID: 0000-0003-1353-0177.

Кручинин Дмитрий Владимирович

д.т.н., профессор кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР, 634050, Томск, пр. Ленина, д. 40), e-mail: kdv@fb.tusur.ru, ORCID ID: 0000-0003-3412-432X.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад соавторов: Каждый автор внес равную долю участия как во все этапы проводимого теоретического исследования, так и при написании разделов данной статьи.

**Modification of the Method for Identifying and Tracing Complex Technical Products
Using Combinatorial Generation Algorithms Based on AND/OR Trees**

Alina V. Tokareva, Dmitry V. Kruchinin

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)

Abstract: The development of information technologies, automation of production, technological, and management processes are becoming part of production enterprises. This increases not only the quality of replacement products, but also the ability to resolve problems promptly at the management level and «transparency» in the activities of the enterprise. One of the systems that defines the task of operational product quality management is traceability and identification systems. The article edits a modification of the original identification and traceability method using combinatorial generation algorithms based on AND/OR calculations. The method provides information about the type of product in the form of an and/or tree by subcharacteristics, followed by obtaining a definition of the product type number. A method obtained has scientific novelty consisting of a flexible system for identifying subtrees with information about components to be filled in by supplier enterprises.

Keywords: combinatorial generation, traceability, identification, AND/OR trees, quality management, complex technical product, automation, ranking.

For citation: Tokareva A. V., Kruchinin D. V. Modification of the method for identifying and tracing complex technical products using combinatorial generation algorithms based on AND/OR trees (in Russian). *Vestnik SibGUTI*, 2024, vol. 18, no. 3, pp. 73-85. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2024-18-3-73-85>.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0
License

© Tokareva A. V., Kruchinin D. V., 2024

The article was submitted: 23.01.2024;
revised version: 21.03.2024;
accepted for publication 31.03.2024.

References

1. *GOST R ISO 9000-2015. Sistemy menedzhmenta kachestva. Osnovnye polozheniya i slovar'* [Russian Standard No. 9000-2015 Quality management systems. Fundamentals and vocabulary]. Moscow, 2015, p. 53.
2. Savinkova E. A., Guseva I. V., Pirkina O. V. Identifikacija i proslezhivaemost' produkcii kak odno iz osnovnyh trebovanij pri vnedrenii sistemy upravlenija kachestvom na primere predpriyatija OOO «Shik» Chuvashskoj respubliky [Identification and traceability of products as one of the main requirements for a quality management system implementation on the example of LLC "SHIK" in the Republic of Chuvashia]. *Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, no. 4 (8), pp. 40-43.
3. Dravica V., Kurbackij A. Promyshlennaja revoljucija Industry 4.0 [Industrial revolution Industry 4.0]. *Nauka i innovacii*, 2016, no. 3, pp. 13-16.
4. Nosenko V. A., Silaev A. A., Evremkin S. I., Grednikov S. B. Issledovanie instrumentov identifikacii avtomatizirovannoj sistemy proslezhivaemosti sbornochnogo proizvodstva [Research of tools of identification used at automated traceability system for assembly manufacturing]. *Sbornik materialov X Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Innovacii v mashinostroenii*, 2019, pp. 199-204.
5. Wang S., Dongyl L., Zhang Y., Chen J. Smart contract-based product traceability system in the supply chain scenario. *IEEE Access*, 2019, vol. 7, pp. 115122–115133.
6. Tursunhodzhaev M. L., Zagrebel'skaja M. V. Nekotorye aspekty ispol'zovaniya blokchejn-tehnologii v celjah optimizacii cepochek postavok [Some aspects of using blockchain technology to optimize supply chains]. *Transformacija modelej korporativnogo upravlenija v uslovijah cifrovoj ekonomiki*, 2022, no. 1, pp. 1-4.
7. Hong W., Cai Y., Yu Z., Yu X. An agri-product traceability system based on IoT and blockchain technology. *Proc. of 2018 IEEE International Conference on Hot Information-Centric Networking (HotICN)*, 2019, pp. 254-255.
8. Timchuk E. G. Primenenie tehnologii blokchejn v celjah obespechenija proslezhivaemosti pishhevoj produkcii: tekushhee sostojanie i perspektivy [Application of blockchain technology in order to ensure the traceability of food products: current state and prospects]. *Nauchnye trudy Dal'rybvtuza*, 2022, vol. 61, no 3, pp. 13-20.
9. Korobko I. Generacija shtrih-koda EAN-13 [EAN-13 barcode generation]. *System Administrator*, 2012, no. 5, pp. 74-78.
10. Starikov A. V., Starodubceva T. N., Baturin K. V., Poljakov S. Ju. Avtomatizacija identifikacii i ucheta detalej mebel'nogo proizvodstva s ispol'zovaniem sistemy shtrihovogo kodirovaniya [Automation of identification and accounting of furniture production parts using a bar coding system]. *Lesotekhnicheskij zhurnal*, 2013, no. 2, pp. 138-149.
11. Karev V. A., Kravec A. G. Razrabotka algoritma generacii QR-koda dlja onlajn platezhej [Development of QR-code generation algorithm for online payments]. *Setevoe nauchnoe izdanie «Sistemnyj analiz v nauke i obrazovanii»*, 2019, no. 1, pp. 1-6.
12. Abramovich V. V., Brumshtejn Ju. M., Shipilova O. V. Dvumernye graficheskie kody: analiz informacionnoj emkosti, sposobov generacii, napravlenij primenenija [Two-dimensional graphic codes: analysis of information capacity, methods of generation, directions of application].

- ysis of information capacity, ways of generation, directions of application]. *Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tehnologii*, 2019, no. 1, pp. 10-33.
13. Abramovich V. V., Brumshtejn Ju. M. Odnomernye (linejnye) graficheskie kody: analiz sposobov generacii, tradicionnyh i novyh napravlenij primenenija, voprosov informacionnoj bezopasnosti ispol'zovanija [One-dimensional (linear) graphic codes: analysis of ways of generation, traditional and new directions of application, questions of information security of use]. *Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tehnologii*, 2018, no. 3, pp. 19-36.
 14. Ruskey F. *Combinatorial generation. Working version (1j-CSC 425/520)*, 2003, available at: <https://page.math.tu-berlin.de/~felsner/SemWS17-18/Ruskey-Comb-Gen.pdf> (accessed: 20.01.2024).
 15. Slagle J. A heuristic program that solves symbolic integration problem in freshman calculus. *Journal of the ACM*, 1963. vol. 10, no. 4, pp. 507-520.
 16. Kruchinin V. V., Ljukshin B. A. Metod kodirovanija informacionnyh ob'ektov na osnove derev'ev I/ILI [Method of Coding of Information Objects on the Basis of Trees And-Or]. *Doklady TUSUR*, 2010, no. 1, pp. 170-172.
 17. Kruchinin V. V. *Metody, algoritmy i programmnoe obespechenie kombinatornoj generacii* [Methods, algorithms and software for combinatorial generation]. Doctor's degree dissertation, Tomsk, 2010. 387 p.

Alina V. Tokareva

Junior Researcher, Laboratory of Algorithms and Discrete Research Technologies, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR, Russia, 634050, Tomsk, Lenin Ave., 40), e-mail: alina.v.tokareva@tusur.ru, ORCID ID: 0000-0003-1353-0177.

Dmitry V. Kruchinin

Dr. of Sci. (Engineering), Professor of the Department of Computer Systems in Management and Design, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR, Russia, 634050, Tomsk, Lenin Ave., 40), e-mail: kdv@fb.tusur.ru, ORCID ID: 0000-0003-3412-432X.