

УДК 62; 658; 658.512

Автоматизация формирования конфигурации гибкой производственной системы с использованием ПО CMSolver

Буханов Сергей Александрович

bukhanov@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В работе рассматривается использование программного обеспечения CMSolver для решения задачи формирования конфигурации производственных систем (ПС) на основе методов удовлетворения ограничений. При решении задачи учитывается фактор чрезвычайно широкого пространства выбора современного оборудования. Рассматриваемый в работе подход включает методику подготовки исходных данных и построение онтологической модели предметной области с применением для решения задачи метода удовлетворения ограничений. Рассматривается реализация процедур управления конфигурацией ПС на всех этапах ее жизненного цикла с использованием программного средства CMSolver.

Ключевые слова: производственная система, управление конфигурацией производственной системы, онтологическая модель, задача удовлетворения ограничений, CSP

Введение. Проектирование ПС в современных условиях характеризуется следующими особенностями [1, 2]:

- распространение компьютеризированных технологий в создании (проектировании), производстве, сопровождение в эксплуатации продукции;
- необходимость учета в производстве непрерывно изменяющихся индивидуальных требований потребителя;
- проектная номенклатура предполагаемых к производству изделий не может быть однозначно определена на этапе проектирования;
- значительное количество вариантов для выбора основного технологического — оборудования и средств технологического оснащения;
- необходимость учета возможностей реконфигурации ПС при модернизации в процессе эксплуатации.

Формирование наиболее эффективной комбинации технических средств для решения задачи формирования состава производственной системы сводится к комбинаторной задаче и включает в себя в качестве переменных несколько ключевых компонентов ПС. Задачи, связанные с управлением конфигурацией ПС, были успешно реализованы путем описания проблемной области в единой онтологической модели и формализации самой задачи в терминах Задачи Удовлетворения Ограничений (ЗУО).

Применение готовых решателей для решения ЗУО, имеющих встроенный специализированный язык описания задачи, сопряжено с определенными ограничениями. В частности, у пользователя, не обладающего специализированными знаниями этого языка, могут возникнуть трудности как при первоначальном формировании описания задачи, так и при внесении в него изменений.

Стандартный процесс работы с готовым решателем включает следующие этапы:

- формулировка задачи на встроенном языке с указанием всех необходимых ограничений и требований;
- подготовка исходных данных — набора объектов, наделенных соответствующими свойствами;
- запуск решателя, которому передаются два компонента: программа с описанием задачи и подготовленный набор исходных данных;
- получение результата в виде одной или нескольких комбинаций объектов, соответствующих заданным ограничениям.

В рассматриваемой задаче должна быть возможность быстро отслеживать и корректировать набор ограничений и требований. Кроме того, готовые решатели по причине своей универсальности не оптимизированы для решения одной конкретной задачи. Модель хранения данных, используемая в готовом решателе, является более абстрактной. Все это вызывает значительное увеличение времени поиска решения.

Методы поиска решений, используемые в существующих решателях, в основном известны и создание собственного решателя, оптимизированного под конкретную задачу, может быть более рационально по сравнению с применением готовых решателей.

Разработка собственного решателя позволяет реализовать в зафиксированном виде первые три уровня описания, создать необходимые возможности для удобного доступа и коррекции данных остальных уровней.

Материалы и методы. Общий алгоритм формирования конфигурации ПС основан на применении комбинации метода поиска решений с методами предварительного ограничения пространства поиска [3, 4] (рис. 1). Общий алгоритм состоит из следующих этапов:

- на предварительном этапе производится подготовка модели, трансляция выражений ограничений в объектную форму синтаксического дерева;
- на первом этапе происходит обеспечение совместимости в узлах путем проверки унарных требований к параметрам отдельных компонентов ПС, с использованием алгоритма на основе метода Node Consistency (NC). На этом этапе удовлетворяются ограничения, которые связаны с уже известными параметрами компонентов. Здесь должны быть удовлетворены ограничения, которые связаны с уже известными параметрами компонентов;
- на втором этапе производится предварительная проверка компонентов с использованием алгоритма на основе метода Arc Consistency (AC). На этом этапе происходит попарное сравнение компонентов справочников с целью удаления компонентов не совместимых между собой.
- на третьем этапе производится поиск решений с использованием одного из методов систематической или стохастической групп поиска.

Предложенные методы и алгоритмы (рис. 1) [5] были программно реализованы в виде решателя задач синтеза конфигурации CMSolver. Решатель обладает необходимым функционалом для ввода описания задачи, тонкой настройки параметров алгоритмов поиска решений и просмотра результатов.

Решатель предназначен для решения относительно узкого класса задач формирования конфигурации сложной системы с наложенными ограничениями. В этом решателе, возможно, оптимизировать процесс поиска решений за счет применения методов быстрого доступа к данным.



Рис. 1. Исследованные методы решения задачи удовлетворения ограничений для синтеза конфигурации производственной системы

В решателе реализован унифицированный встроенный модуль вычислителя, предназначенный для трансляции и дальнейшей работы с различными типами выражений, используемыми в решателе.

Для реализации каждого типа выражения вычислитель переводится в один из режимов. Так, ограничения могут реализовываться в объектах вычислителях с режимами: «прямое вычисление выражения», «поиск значения» или «проверка условия требования или ограничения», а требования реализуются только в режиме: «проверка условия требования или ограничения».

В результате трансляции выражения создается синтаксическое дерево, реализуемое в виде иерархической структуры объектов, без привязки к конкретным экземплярам вычисляемых или табличных параметров. Такая структура приспособлена для быстрого вычисления выражения путем обхода дерева и динамической выборки объектов значений параметров.

Решатель был разработан на языке C++ с использованием библиотеки STL для платформы Windows. В решателе реализован функционал для работы на основных этапах решения задачи формирования конфигурации системы (рис. 2):

- функции ввода и редактирования данных модели задачи и справочника компонентов;
- функции отладки выражений ограничений модели;
- функции управление процессом решения задачи и функции обзора полученных результатов.

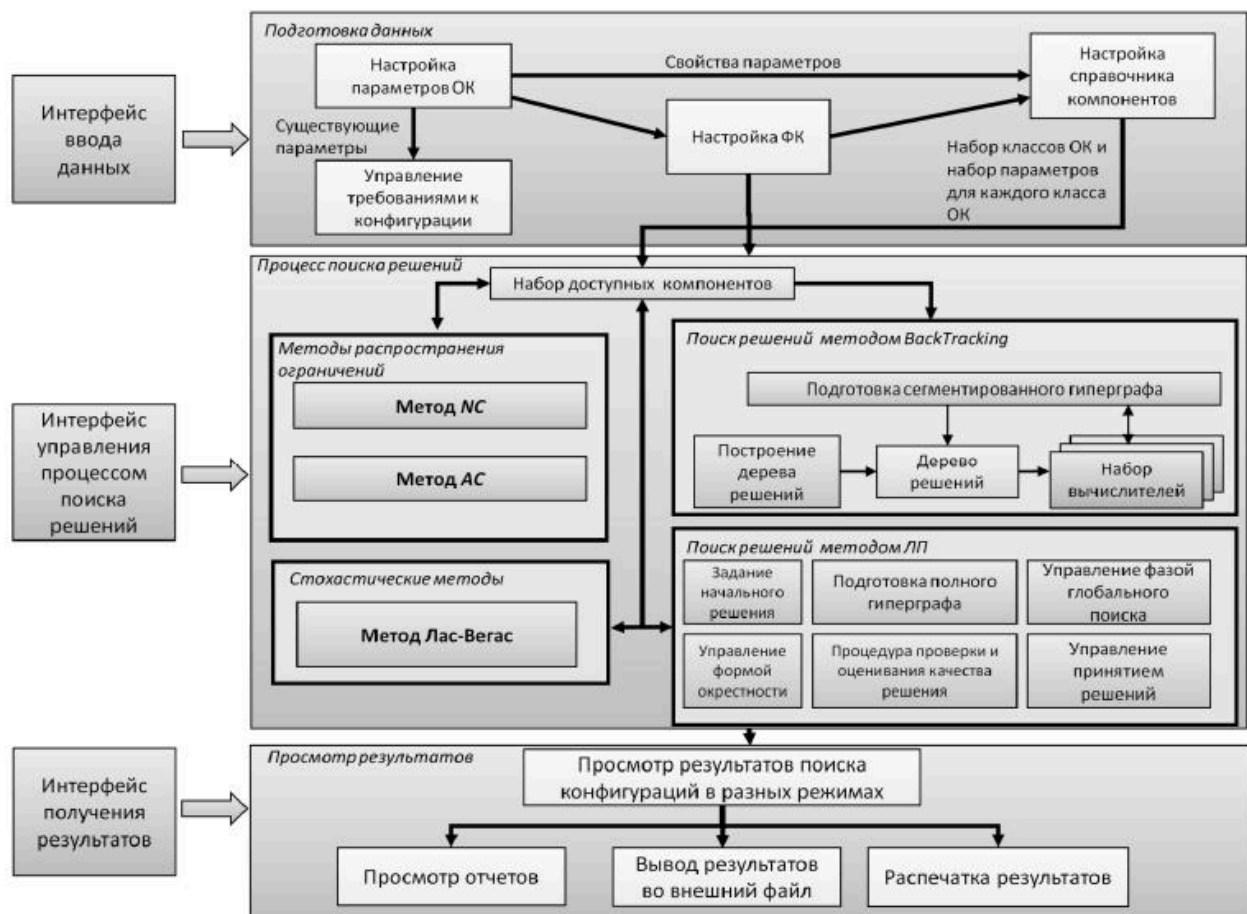


Рис. 2. Архитектура решателя

Важной особенностью предложенной архитектуры программного средства является возможность описывать модель задачи, не прибегая к разработке программной части на языке программирования. Решатель позволяет описывать модель задачи посредством специального интерфейса ввода данных в форме единого дерева элементов онтологии задачи, набора выражений ограничений в простой математической форме и таблиц справочников как онтологии предметной области.

На основе предложенных алгоритмов и использования решателя построена методика поддержания актуального состояния конфигурации ПС на эта-

пах жизненного цикла (ЖЦ) ПС. Методика включает этапы анализа предполагаемой номенклатуры деталей, подготовки технологической информации, уточнения модели, этапов формирования начальной и модифицированной конфигурации ПС, а также отслеживание актуальности текущей конфигурации ПС с учетом изменения внешних условий или износа существующего оборудования.

Предлагаемые решения были апробированы при построении конфигурации участка по изготовлению технологической оснастки для производства резинотехнических изделий [6]. В ходе работы была применена методика подготовки данных, показанная на рис. 3.



Рис. 3. Методика подготовки данных для применения CMSolver

Заключение. В результате анализа исходной номенклатуры, составлявшей более 32 пресс-форм и технологических приспособлений, были выделены 10 деталей разных типов. Выполнен анализ конструктивно-технологических элементов (КТЭ) и сформирована таблица связи параметров видов обработки с допустимыми возможностями станков. Заполнен справочник технологического оборудования объемом 157 станков. Были проведены шаги подготовки технологической информации и сформированы в решателе позиции оснащения в количестве 40 штук с соответствующими параметрами.

Выполнены прогоны алгоритмов поиска решений с предварительным сокращением пространства поиска. Время получения решения укладывается

в интервал от нескольких секунд до 15 минут. В результате использования ПО CMSolver была получена оптимальная конфигурация участка механообработки в составе семи станков различного назначения [6].

Литература

- [1] Лагута В.С., Овсянников М.В. Учет неопределенности номенклатуры деталей для выбора качественного состава оборудования ГПС механообработки. *Научные технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе. Регион. науч.-техн. конф.: матер.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023, т. 1, с. 75–84.
- [2] Буханов С.А., Лагута В.С., Овсянников М.В. Проектирование конфигурации производственной системы на этапах жизненного цикла. *Высокие технологии в машиностроении. ВНТК: матер.* Самара, Самар. гос. техн. ун-т, 2025, с. 14–19.
- [3] Bartak R. *On-line guide to Constraint Programming*. URL: <http://ktlinux.ms.mff.cuni.cz/~bartak/constraints/> (дата обращения 18.11.2025).
- [4] Семенов А.Л. Методы распространения ограничений: основные концепции. *PSI'03/ИМРО — Интервальная математика и методы распространения ограничений*, 2003. URL: http://interval.ict.nsc.ru/Conferences/IMRO_03/ConstrProp.pdf (дата обращения 18.11.2025).
- [5] Буханов С.А., Овсянников М.В. Управление конфигурацией с использованием метода программирования в ограничениях. *Эффективные методы автоматизации подготовки и планирования производства: сб. науч. тр.* Москва, Спектр, 2011, с. 150–156.
- [6] Буханов С.А., Лагута В.С., Резниченко Д.С. Синтез конфигурации производственной системы по изготовлению технологической оснастки для выпуска резинотехнических изделий. *Комплексная автоматизация проектирования и производства (КАПП-2024). Первая науч.-практ. конф. с междунар. уч.: матер.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, с. 41–45.

Automating the configuration of a flexible manufacturing system using the CMSolver software

Bukhanov Sergey Alexandrovich

bukhanov@yandex.ru

BMSTU, Moscow, Russia

The paper considers the use of CMSolver software to solve the problem of configuring production systems based on constraint satisfaction methods. When solving the problem, the factor of an extremely wide choice of modern equipment is taken into account. The approach considered in this paper includes a methodology for preparing the initial data and building an ontological model of the domain using the constraint satisfaction method to solve the problem. The implementation of configuration management procedures for a PC at all stages of its lifecycle using the CMSolver software tool is considered.

Keywords: production system, production system configuration management, ontological model, constraint satisfaction problem