

Метод комбинаторно-оптимизационного проектирования технологических систем механической обработки

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»*

Предложена концептуальная модель комбинаторно-оптимизационного проектирования технологических процессов. Рассмотрены структура и характеристики вычислительного ядра технологического проектирования. Описана библиотека классов для программной реализации ядра. Иерархическая структура библиотеки классов позволяет реализовать принцип инвариантности генетического алгоритма к различным технологическим задачам. Разработан оригинальный метод комбинаторно-оптимизационного проектирования технологических систем механической обработки, инвариантный к задачам структурной и параметрической оптимизации.

Ключевые слова: генетический алгоритм, библиотека классов, многоуровневое программирование, динамическая библиотека, технологическая система, дискретная оптимизация.

Формулирование цели работы

При проектировании современных многономенклатурных производств делается акцент на повышении степени интеграции САПР технологического назначения в единую вычислительную среду предприятия за счет реализации принципов информационного единства и инвариантности методов проектирования. Реализация данных принципов обеспечивается на основе использования концепции CALS [1–2]. Базовым языком, реализующим принцип информационного единства на уровне данных, является XML [3]. На программном уровне принцип информационного единства обеспечивается моделью DOM в .NET Framework. Интеграция программного обеспечения в единую вычислительную среду выполняется при использовании ActiveX и COM технологий.

В этом контексте основная проблема видится в обеспечении принципа инвариантности существующих методов дискретной оптимизации к различным задачам технологической подготовки производства. По сути для каждой конкретной задачи разрабатывают специфический метод дискретной оптимизации, где решается задача сокращения перебора с помощью алгоритмов, в которых заложены правила, учитывающие особенности этой задачи. С этой точки зрения применение генетических алгоритмов позволит решить данную проблему.

Таким образом, цель работы – разработка оригинального метода комбинаторно-оптимизационного проектирования технологических систем механической обработки, инвариантного к задачам структурной и параметрической оптимизации [4–5].

Концептуальная модель комбинаторно-оптимизационное проектирование технологических процессов (КОПТП)

Применение генетического алгоритма предполагает использование понятия хромосомы, характеризующей особь, и функции приспособленности, оценивающей степень эффективности данной особи по отношению к внешней среде. В нашем случае внешней является производственная среда, где будет реализован

технологический процесс, степень приспособленности которого можно оценить различными критериями. Технологический процесс при таком подходе представлен отдельной особью. На этапе технологической подготовки производства генерируется множество вариантов реализации технологического процесса в производственной среде, но в результате отбирается один, удовлетворяющий заданному критерию эффективности. Согласно все указанное выше с основными понятиями генетических алгоритмов, получаем следующее: популяция – это множество технологических процессов, потенциально реализуемых в производственной среде, для изготовления одной конкретной детали; особь – отдельный технологический процесс; функция фитнеса – критерий оценки эффективности отдельного технологического процесса по отношению к производственной среде; особь (технологический процесс) представляется хромосомой или набором хромосом, характеризующих различные свойства, важные для производственной среды; ген – атрибут, описывающий состояние структурного элемента технологической системы, следовательно, хромосома определяет положение этого элемента в пространстве состояний технологической системы.

Тогда суть комбинаторно-оптимизационного проектирования – это формирование популяции и выбор из нее наиболее эффективной особи с помощью операторов генетического алгоритма. Концептуальная модель такого подхода к технологическому проектированию показана на рис. 1.

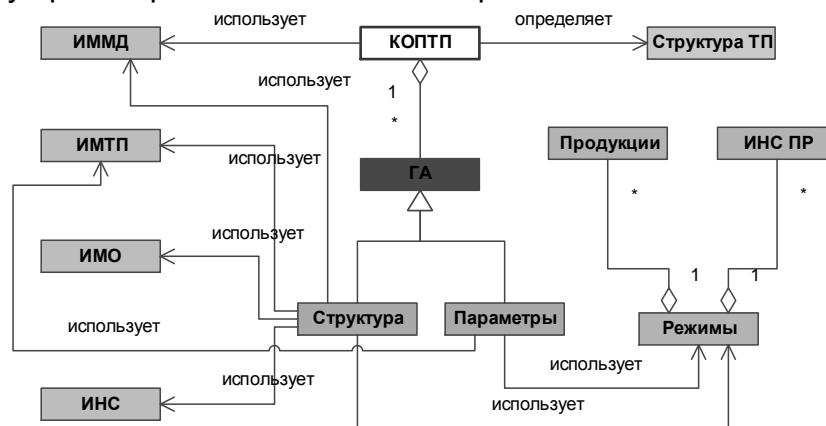


Рис. 1. Схема КОПТП

Согласно схеме методика КОПТП включает в себя набор генетических алгоритмов (ГА), с помощью которых информационная модель машиностроительной детали (ИММД) преобразуется в структуру технологического процесса. ГА – это класс генетических алгоритмов, свойства и поведение которого наследуется двумя классами алгоритмов. Первый класс «Структура» применяют для структурной оптимизации технологических процессов, а второй класс «Параметры» – для параметрической оптимизации технологической операции. При структурной оптимизации используют следующие информационные модели: ИММД – информационная модель машиностроительной детали; ИМТП – информационная модель технологического процесса; ИМО – информационная модель оборудования; ИНС – информационно-алгоритмическая модель искусственных нейронных сетей (ИНС). Поддержка расчетов режимных параметров технологической операции осуществляется фреймово-продукционными моделями. Алгоритмические модели ИНС прямого распространения для расчета режимных параметров различных методов обработки представлены в виде фреймов. Лингвистической основой всех инфор-

мационных моделей, используемых при технологическом проектировании, является язык XML. Все основные этапы технологического проектирования представляются в такой постановке, как процесс последовательного преобразования информационных моделей. В основу математической модели XML положено отображение объектов реального мира в виде древовидных графов. Поэтому математическая модель процесса – это преобразования над древовидными графами.

Программное обеспечение структурной оптимизации технологической системы

В данной работе на основе схемы КОПТП спроектировано вычислительное ядро технологического проектирования, которое реализовано в виде динамической библиотеки с интерфейсом, обеспечивающим доступ к методам ядра из внешнего приложения. Структура программного обеспечения показана в виде диаграммы компонентов UML на рис. 2.

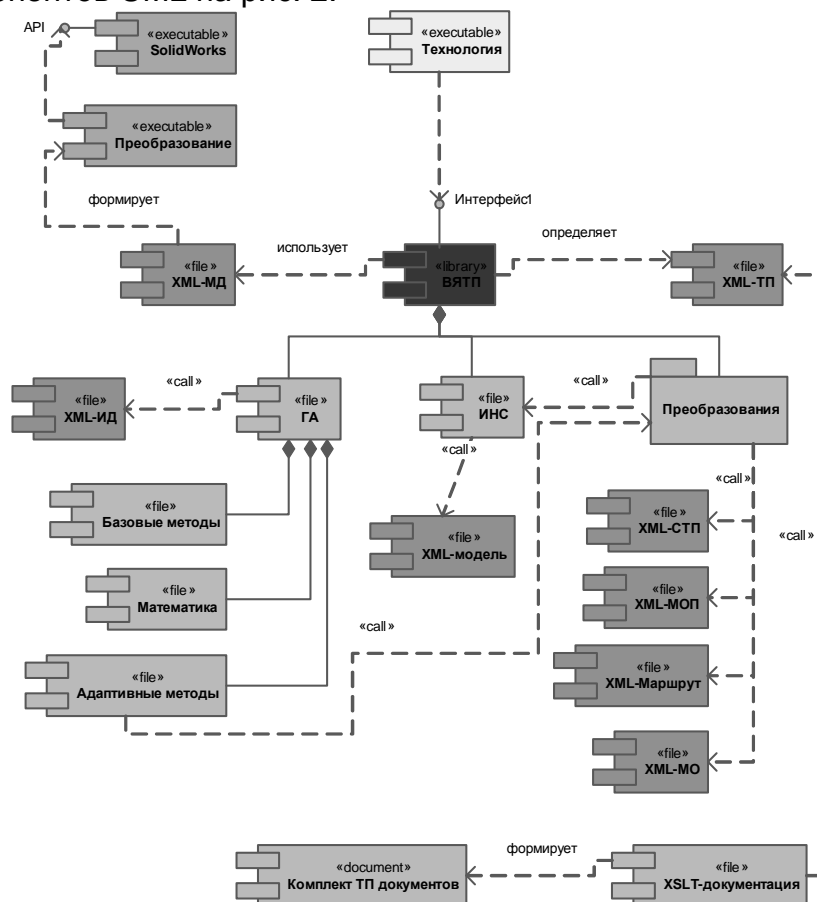


Рис. 2. Структура вычислительного ядра технологического проектирования

Вычислительное ядро технологического проектирования (ВЯТП) – основано на использовании для решения комбинаторно-оптимизационных задач гибридных генетических алгоритмов, возможности которых расширяются применением ИНС. Для работы ВЯТП необходимо сформировать (XML – МД) информационную модель детали с помощью специальной программы, обеспечивающей через API интерфейс связь с САПР конструкторского назначения SolidWorks. Затем создается файл исходных данных, необходимых для моделирования (XML–ИД), и запускает-

ся расчет, результатом которого будет сформированный технологический процесс в формате XML (XML-ТП). Из данного файла формируется технологическая документация с помощью набора XSLT преобразований.

ВЯТП выполнено в виде библиотеки классов, схема которой отображена на рис. 3. Связь между классами реализована в виде наследования методов. Основным классом, который обеспечивает работу остальных, является mathclass.

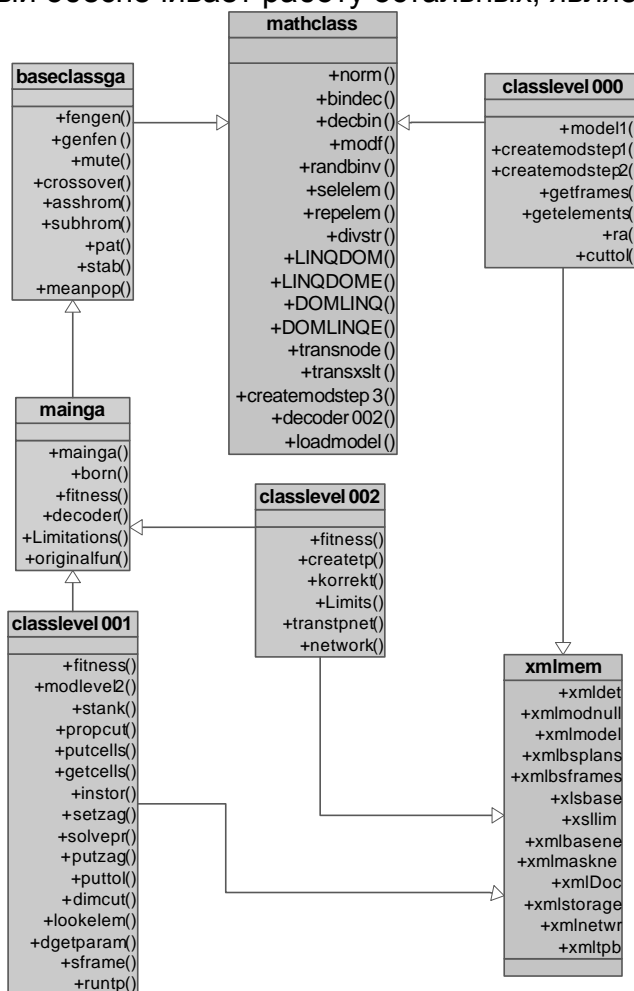


Рис. 3. Библиотека классов, реализующая функции ВЯТП

Здесь собраны следующие группы методов (каждый метод реализован в виде функции):

1. Математические методы обработки векторов:
 - 1.1. Вычисление нормы (расстояния между векторами) – norm.
 - 1.2. Формирование десятичного представления – bindec.
 - 1.3. Формирование двоичного вектора – decbin.
 - 1.4. Вычисление остатка от деления x на y – modf
 - 1.5. Моделирование случайного двоичного вектора заданной длины – randbinv.
2. Методы грамматического разбора строк:
 - 2.1. Выбор символа строки по заданной позиции – selelem.
 - 2.2. Замещение данных в строке в заданной позиции – repelem.
 - 2.3. Метод разбора строки и формирования массива значений – divstr.

3. Специальные методы обработки XML для целей проектирования:

3.1. Преобразование XML из LINQ в DOM – LINQDOM, LINQDOME.

3.2. Преобразование XML из DOM в LINQ – DOMLINQ, DOMLINQE.

3.3. Преобразование узла по правилу XSLT (для VbScript) – transnode.

3.4. Преобразование узла по правилу XSLT (для VB) 4 перегрузки – transxslt.

3.5. Вычисление длины хромосомы в генах и аллелях – createmodstep3.

3.6. Декодирование фенотипов в значения – decoder002.

3.7. Загрузка параметров ГА – loadmodel.

Работу ГА обеспечивают два класса – baseclassga и mainga. Анализ задач параметрической оптимизации показал, что при реализации ГА существуют методы, которые не изменяются по отношению к любому классу практических задач, и есть методы, которые необходимо изменять при адаптации алгоритма к конкретной задаче. Поэтому были выделены два класса. Первый класс – baseclassga. Этот класс реализует базовые методы работы ГА: преобразование фенотипа в генотип (fengen); преобразование генотипа в фенотип (genfen); оператор мутации (mute); оператор скрещивания (crossover); сборка хромосомы из генов (asshrom); разделение хромосомы на гены (subhrom); определение степени родства хромосом (pat); определение момента стабилизации средней функции фитнеса (stab); вычисление среднего значения функции фитнеса в популяции (meanpop).

Оператор скрещивания реализует три типа кроссовера и четыре режима работы. Типы кроссоверов отличаются алгоритмами скрещивания:

1. Классический одноточечный кроссовер.

2. Кроссовер типа – Scattered, широко используемый в современных программных средствах. Здесь скрещивание выполняется на основе бинарного вектора, длина которого равна длине хромосомы в аллелях. Каждая позиция вектора определяет замену аллели.

3. Кроссовер типа – Scattered, но для генов, здесь бинарный вектор определяет скрещиваемые гены.

Первые три режима работы соответствуют указанным типам кроссоверов. Четвертый режим работы обеспечивает случайный выбор по закону равной вероятности одного из трех типов кроссовера, что позволяет на сложных функциях частично избежать насыщения средней функции фитнеса в популяции.

Второй класс – mainga. Этот класс реализует методы, которые при необходимости можно модифицировать: генетический алгоритм (mainga); наполнение популяции потомками (born); вычисление функции фитнеса (fitness); декодирование фенотипов (decoder); проверка ограничений (Limitations); оригинальная функция (originalfun).

Такая организация библиотеки позволяет при необходимости переопределять все указанные методы в классе потомке. Наиболее часто переопределяются следующие методы: fitness, decoder, Limitations, originalfun. Основным методом (mainga), непосредственно реализующий ГА, также может быть переопределен в новом классе, если этого потребует реализация конкретной задачи. Данный класс имеет два производных класса, предназначенных для реализации основных функций вычислительного ядра технологического проектирования. Первый класс (ClassLevel001) обеспечивает комбинаторно-оптимизационное проектирование на уровне методов обработки. В этом классе выполняются преобразования в функции фитнеса, в результате которых формируется хромосома второго уровня проектирования. Для этого переопределяется функция фитнеса базового класса (mainga).

Второй класс (ClassLevel002) обеспечивает комбинаторно-оптимизационное проектирование на уровне структуры технологического процесса. Здесь формируется технологический процесс на основе сценария и набора методов обработки; проверяется технологический процесс на правильность и корректируется по оборудованию; преобразуется технологический процесс в нейронную сеть и вычисляются значения целевой функции на основе моделирования ИНС. Данные задачи реализуются следующими методами: переопределение функции фитнеса (fitness); заполнение слотов фрейма и формирование ТП (createtp); корректировка режимных параметров по станку (korrekt); запуск проверок на правильность составления ТП (Limits); преобразование информационной модели ТП в ИНС (transtpnet); обработка ИНС (network).

Все действия по формированию модели первого уровня обеспечиваются методами, собранными в класс – ClassLevel000. Назначение методов следующее: формирование модели для первого уровня проектирования (model1); формирование модели для первого уровня проектирования шаг 1 (createmodstep1); формирование модели для первого уровня проектирования шаг 2 (createmodstep2); считывание данных по фреймам сценариям (getframes); считывание данных по элементам (getelements); функция для определения шероховатости по цвету (ra); функция для определения точности обработки по размерам (cuttol). Здесь проектирование модели первого уровня разбито на несколько шагов, последовательность которых реализована в функции model1. Основой для проектирования модели первого уровня является информационная модель детали, реализованная в виде файла формата XML.

Выводы

Использование генетического алгоритма при проектировании дискретных технологических систем представляет собой последовательное рассмотрение эволюции системы, оцениваемой функцией приспособленности системы к внешней производственной среде. Структура технологической системы в этом случае фиксируется на уровне хромосомы, где генами являются параметры структурных элементов, а эффективность конкретной конфигурации системы оценивается степенью её приспособленности к выпуску заданной продукции, при условиях, ограничивающих изменения этих параметров. Тогда в процессе проектирования возникает множество состояний, характеризующихся хромосомами, из которых отбираются наиболее перспективные по функции приспособленности, что позволяет сформировать эффективные технологические системы механической обработки по заданному критерию.

Список литературы

1. Овсянников, М.В. Состояние, проблемы и перспективы развития CALS-технологий в России [Электронный ресурс] / М.В.Овсянников, П.С.Шильников. – Режим доступа: http://www.rk9.bmstu.ru/library/articles/article_view.php?article=calstech
2. Концевич, В.Г. Использование CALS- методологии при разработке САПР поршневых компрессоров [Электронный ресурс] / В.Г. Концевич. – Режим доступа: http://lab18.ipu.rssi.ru/projects/papers2003/REPORTS/д_Концевич2003.htm
3. Фролов, В.В. Использование XML для разработки и интеграции технологических САПР [Текст] / В.В. Фролов, Г.Н. Жолткевич // Вісник Національного

технічного університету "Харківський політехнічний інститут" : зб. наук. праць. Темат. випуск: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ "ХПІ". – 2003. – №16. – С. 73–82.

4. Фролов, В.В. Особенности параметрической оптимизации при фиксированной структуре технологической системы [Текст] / В.В. Фролов, А.В. Евтухов // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" : зб. наук. праць. Темат. випуск: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ "ХПІ". – 2010. – №49. – С. 81–87.

5. Фролов, В.В. Комбинаторно-оптимизационное технологическое проектирование на основе структурно-функциональной унификации технологической системы [Текст] / В.В. Фролов // Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х. : ХНТУСГ. – 2010. – Вип. 101: Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні. – С. 160–166.

Поступила в редакцію 22.05.12

Рецензент: д. т. н., проф., А. Н. Шелковой,
НТУ «ХПИ», г. Харьков.

Метод комбінаторно-оптимізаційного проектування технологічних систем механічної обробки

Запропоновано концептуальну модель комбінаторно-оптимізаційного проектування технологічних процесів. Розглянуто структуру й характеристики обчислювального ядра технологічного проектування. Описано бібліотеку класів для програмної реалізації ядра. Ієрархічна структура бібліотеки класів дозволяє реалізувати принцип інваріантності генетичного алгоритму до різних технологічних задач. Розроблено оригінальний метод комбінаторно-оптимізаційного проектування технологічних систем механічної обробки, інваріантний до задач структурної й параметричної оптимізації.

Ключові слова: генетичний алгоритм, бібліотека класів, багаторівневе програмування, динамічна бібліотека, технологічна система, дискретна оптимізація.

Method of combinatorial-optimizing designing of technological systems of machining

The conceptual model of combinatorial-optimizing designing of technological process is offered. Are observed structure and characteristics of a computing kernel of technological designing. The class's library for program implementation of a kernel is presented. The hierarchical structure of class's library allows realizing a principle of invariance of genetic algorithm to various technological problems. The original combinatorial-optimizing designing method of technological systems of machining invariant to problems of structural and parametric optimization is developed.

Keywords: the genetic algorithm, class library, multi-level programming, dynamic library, technological system, discrete optimization.