|  |  |
| --- | --- |
|  | **Утверждаю**  Директор института новых материалов и технологий ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ О. Ю. Шешуков  «**\_\_\_**» **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** 2021 г**.** |

**Заключение**

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (УрФУ),

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Разработка алгоритмов оптимальной маршрутизации инструмента для САПР управляющих программ машин листовой резки с ЧПУ» выполнена в Институте новых материалов и технологий на кафедре «Информационные технологии и автоматизация проектирования».

В период подготовки диссертации соискатель Уколов Станислав Сергеевич являлся аспирантом очной формы обучения Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» с 01.09.2016 г. по 31.08.2020 г. по направлению 09.06.01 Информатика и вычислительная техника (Системы автоматизации проектирования); работал в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» в должности ведущего программиста кафедры информационных технологий и автоматизации проектирования с 21.12.2015 г. по настоящее время.

В 1992 году окончил Уральский ордена Трудового Красного знамени политехнический институт им. С. М. Кирова по специальности экспериментальная ядерная физика.

Диплом об окончании аспирантуры с приложением к нему выдан в 2020 г. ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина».

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Петунин Александр Александрович, профессор кафедры информационных технологий и автоматизации проектирования Института новых материалов и технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина».

Выписка из протокола № 4

заседания кафедры информационных технологий и автоматизации проектирования (ИТиАП)

от «27» октября 2021 г.

**Присутствовали**:

Куреннов Д.В., к.т.н., доцент, зав. кафедрой ИТиАП; Бывальцев С.В., к.т.н., доцент кафедры ИТиАП; Возмищев Н.Е., к.т.н., доцент кафедры ИТиАП; Кац Е.И., к.т.н., доцент кафедры ИТиАП; Колмыков В.Л., ст. преподаватель кафедры ИТиАП; Котёл Н.С., старший преподаватель кафедры ИТиАП; Маянц М.Л., старший преподаватель кафедры ИТиАП; Мещанинова Т.В., к.т.н., доцент кафедры ИТиАП; Мухоморов В.Л., старший преподаватель кафедры ИТиАП; Петунин А.А., д.т.н., доцент, профессор кафедры ИТиАП; Поляков А.П., д.т.н., профессор кафедры ИТиАП; Поляков П.А., к.т.н., доцент кафедры ИТиАП; Расковалов С.Г., зав. учебной лабораторией кафедры ИТиАП; Рыжкова Н.Г., к.пед.н., доцент кафедры ИТиАП; Синотова С.Л., старший преподаватель кафедры ИТиАП; Спевак Л.Ф., к.ф-м.н., доцент кафедры ИТиАП; Старостин Н.Д., к.т.н., доцент кафедры ИТиАП; Шамова Г.П., ведущий инженер кафедры ИТиАП; Шипачева Е.Н., старший преподаватель кафедры ИТиАП.

**Приглашены**: Сесекин А.Н., д.ф-м.н., профессор, зав. кафедрой прикладной математики и механики, ведущий научный сотрудник лаборатории оптимального раскроя промышленных материалов и оптимальных маршрутных технологий УрФУ.

**Вопросы**:

1. к.т.н., доцент Куреннов Д.В.:
   * Алгоритмы учитывают технологические ограничения современного оборудования. Возможно ли появление новых ограничений с учётом появления новых типов оборудования?
2. д.т.н., профессор Поляков А.П.:
   * Использование слова «оптимальный» с математической точки зрения не оправдано.
   * Просьба уточнить формулировку п.4 научной новизны
   * Обратить внимание на оформление публикаций в соответствии с требованиями ВАК
3. к.т.н., доцент Кац Е.И.:
   * Вы получаете оценки с доверительным интервалом 95%. Какова постановка статистической задачи, в которой будет получена такая вероятность?
   * Полученные результаты сравнимы с решателем Gurobi, в чём тогда смысл разработки таких алгоритмов?
4. старший преподаватель Мухоморов В.Л.:
   * Вы решаете задачу оптимальной маршрутизации, как она увязывается с задачей оптимального раскроя?
5. д.ф-м.н., профессор Сесекин А.Н.:
   * У вас были работы по учёту термических ограничений, они не включены в диссертацию?
   * Оптимизация по двум разным задачам – это постановка задачи на векторную оптимизацию. Задача интересная, но достаточно сложная.

На все заданные вопросы диссертант дал аргументированные ответы

С положительной оценкой диссертационной работы выступили: д.ф-м.н., профессор Сесекин А.Н. (рецензент); старший преподаватель Мухоморов В.Л.; к.т.н., доцент Куреннов Д.В. (рецензент).

По результатам рассмотрения диссертации «Разработка алгоритмов оптимальной маршрутизации инструмента для САПР управляющих программ машин листовой резки с ЧПУ» принято следующее **заключение**.

Диссертационная работа С. С. Уколова является законченной научной работой, выполненной на актуальную тему. Диссертационная работа посвящена проблеме повышения эффективности функционирования систем автоматизированного проектирования управляющих программ для машин фигурной резки с ЧПУ за счёт оптимизации временных и стоимостных характеристик процесса перемещения режущего инструмента при одновременном выполнении ограничений предшествования, для чего разработан ряд алгоритмов, осуществляющих оптимальную маршрутизацию режущего инструмента, программные модули, реализующие указанные алгоритмы, и методика использования их в процессе проектирования управляющих программ в составе CAD/CAM-систем для машин фигурной резки с ЧПУ. Актуальность темы вызвана тем, что общая задача маршрутизации режущего инструмента является крайне сложной, что приводит к необходимости сочетания как точных алгоритмов, так и эвристических и метаэвристических подходов для решения широкого класса задач, возникающих в современном производстве.

**Личный вклад автора** состоит в проведении теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертационной работы, разработке программного обеспечения, проведении численных экспериментов с его использованием, а также в разработке соответствующих методик применения разработанного программного обеспечения в составе систем автоматизированного проектирования управляющих программ для оборудования фигурной резки с ЧПУ. В опубликованных совместных работах постановка и исследование задач осуществлялись совместными усилиями соавторов при непосредственном активном участии соискателя.

**Научная новизна:**

1. Разработан алгоритм ветвей и границ для обобщенной задачи коммивояжера с ограничениями предшествования, позволяющий строить нижние оценки для решений указанной задачи, в том числе, полученных другими алгоритмами и эвристиками
2. Разработан алгоритм поиска точек врезки в контуры, не использующий механизм дискретизации
3. Сформулированы схемы использования ограничений предшествования для уменьшения вычислительной сложности алгоритмов оптимальной маршрутизации.

**Практическая значимость работы:**

1. Использование разработанных алгоритмов маршрутизации режущего инструмента позволяет сократить затраты на проектирование управляющих программ для машин фигурной резки с ЧПУ, а также временные характеристик процесса резки.
2. Использованные модели оптимизации могут применяться совместно с другими моделями, что позволяет повысить их производительность, а также решать более широкие классы задач маршрутизации режущего инструмента машин фигурной резки с ЧПУ, что должно оказать позитивный эффект как на стоимость процесса резки, так и на качество получаемых деталей.
3. Использование открытых форматов позволяет широко сочетать различные программные системы и модули на разных этапах проектирования управляющих программ для машин фигурной резки с ЧПУ, что позволяет решать более широкий круг практических задач, повышая эффективность производственного процесса.

**Достоверность результатов** диссертационной работы подтверждается экспериментальными результатами, полученными при использовании моделей, алгоритмов и программных модулей, созданных при непосредственном участии соискателя. Основные положения диссертации представлялись на международных и всероссийских научных конференциях, опубликованы в изданиях ВАК, Scopus и WoS и получили одобрение специалистов.

Основные результаты работ и исследований по теме диссертации представлены на конференциях:

* Applications of Mathematics in Engineering and Economics, Созополь, Болгария, 2016 год
* MiM2016: on Manufacturing, Modelling, Management & Control, Труа, Франция, 2016 год
* ASRTU 2017 International Conference on Intellectual Manufacturing, Харбин, Китайская Народная Республика, 2017 год
* Mathematical Optimization Theory And Operations Research, Екатеринбург, Россия, 2019 год
* Manufacturing Modelling, Management and Control – 9th MIM 2019, Берлин, Германия, 2019 год
* XVI Всероссийская научно-практическая конференция «Перспективные системы и задачи управления», Домбай, Россия, 2021 год
* XII International Conference Optimization and Applications (OPTIMA2021), Petrovac, Черногория, 27.09.2021 – 01.10.2021.
* XIV-я Всероссийская Мультиконференция по проблемам управления, с. Дивноморское, Геленджик, Россия, 27.09.2021 – 02.10.2021.

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 05.13.12 Системы автоматизированного проектирования (промышленность), область диссертационного исследования соответствует пункту 3 **«**Разработка научных основ построения средств САПР, разработка и исследование моделей, алгоритмов и методов для синтеза и анализа проектных решений, включая конструкторские и технологические решения в САПР и АСТПП**»** паспорта научной специальности.

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней. Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования. Диссертационное исследование не содержит результатов научных работ, выполненных в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Материалы диссертации полно представлены в работах, опубликованных соискателем.

**Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ**:

1. Петунин А. А. Новый алгоритм построения кратчайшего пути обхода конечного множества непересекающихся контуров на плоскости / А. А. Петунин, Е. Г. Полищук, С. С. Уколов // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2021. — № 1. — С. 149—164; (1.0 п.л. / 0.3 п.л.)
2. Khachay M. Problem-Specific Branch-and-Bound Algorithms for the Precedence Constrained Generalized Traveling Salesman Problem / M. Khachay, S. Ukolov, A. Petunin // Optimization and Applications. Т. 13078 / под ред. N. Olenev [и др.]. — Springer Nature Switzerland AG, 2021. — P. 136—148. — (Lecture Notes in Computer Science); (0.8 п.л. / 0.27 п.л.) (Scopus)
3. Petunin A. Library of Sample Image Instances for the Cutting Path Problem / A. Petunin, A. Khalyavka, M. Khachay, A. Kudriavtsev, P. Chentsov, E. Polishchuk, S. Ukolov // Pattern Recognition. ICPR International Workshops and Challenges, 2021, Proceedings. — Berlin, Germany : Springer, 2021. — P. 227—233; (0.5 п.л. / 0.07) п.л. (Scopus)
4. Petunin A. A Novel Algorithm for Construction of the Shortest Path Between a Finite Set of Nonintersecting Contours on the Plane / A. Petunin, E. Polishchuk, S. Ukolov // Advances in Optimization and Applications. — Cham, Switzerland : Springer, 2021. — P. 70—83; (0.9 п.л. / 0.3 п.л.) (Scopus)
5. Petunin A. A. Optimum routing algorithms for control programs design in the CAM systems for CNC sheet cutting machines / A. A. Petunin, P. A. Chentsov, E. G. Polishchuk, S. S. Ukolov, V. V. Martynov // Proceedings of the X All-Russian Conference «Actual Problems of Applied Mathematics and Mechanics» with International Participation, Dedicated to the Memory of Academician A.F. Sidorov and 100th Anniversary of UrFU: AFSID-2020. — American Institute of Physics Inc., 2020. — P. 020005; (0.5 п.л. / 0.1 п.л.) (Scopus)
6. Petunin A. A. On the new Algorithm for Solving Continuous Cutting Problem / A. A. Petunin, E. G. Polishchuk, S. S. Ukolov // IFACPapersOnLine. — 2019. — V. 52, № 13. — P. 2320—2325; (0.9 п.л. / 0.3 п.л.) (WoS, Scopus)
7. Petunin A. A. The termal deformation reducing in sheet metal at manufacturing parts by CNC cutting machines / A. A. Petunin, E. G. Polyshuk, P. A. Chentsov, S. S. Ukolov, V. I. Krotov // IOP Publishing. — 2019. — V. 613. — P. 012041; (0.5 п.л. / 0.1 п.л.) (WoS, Scopus)
8. Tavaeva A. A Cost Minimizing at Laser Cutting of Sheet Parts on CNC Machines / A. Tavaeva, A. Petunin, S. Ukolov, V. Krotov // Mathematical Optimization Theory and Operations Research. — Cham, Switzerland : Springer, 2019. — P. 422—437; (0.16 п.л. / 0.4 п.л.) (Scopus)
9. Petunin A. A. About some types of constraints in problems of routing / A. A. Petunin, E. G. Polishuk, A. G. Chentsov, P. A. Chentsov, S. S. Ukolov // AIP Conference Proceedings. — 2016. — V. 1789, № 1. — P. 060002; (0.9 п.л. / 0.18 п.л.) (WoS, Scopus)

**Другие публикации:**

1. Петунин А. А. Эффективная маршрутизация робота/беспилотного летательного аппарата в задачах с условиями предшествования / А. А. Петунин, М. Ю. Хачай, С. С. Уколов // XIV Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2021). Т. 1. — Издательство Южного федерального университета, 2021. — С. 202—205; (0.3 п.л. / 0.1 п.л.)
2. Уколов С. С. Алгоритм ветвей и границ для обобщённой задачи коммивояжера с ограничениями предшествования / С. С. Уколов, М. Ю. Хачай. — 2021. — URL: https://github.com/ukoloff/PCGTSP-BnB.
3. Уколов С. С. JSON-схемы файлов, используемых в САПР «Сириус» / С. С. Уколов, П. А. Ченцов. — 2021 — URL: https://ukoloff.github.io/dbs.js/json-schema/.
4. Петунин А. А. Алгоритмы оптимальной маршрутизации для систем автоматизированного проектирования управляющих программ машин листовой резки с ЧПУ / А. А. Петунин, П. А. Ченцов, Е. Г. Полищук, С. С. Уколов, В. В. Мартынов // Актуальные проблемы прикладной математики и механики. — Институт математики и механики УрО РАН им. Н. Н. Красовского, 2020. — С. 58—59; (0.2 п.л. / 0.04 п.л.)
5. Таваева А. Ф. Разработка инвариантного модуля генерации управляющих программ для машин лазерной резки. Вопросы интеграции с CAD/CAM системами / А. Ф. Таваева, Е. Н. Шипачева, П. А. Ченцов, А. А. Петунин, С. С. Уколов, А. П. Халявка // Актуальные проблемы прикладной математики и механики. — Институт математики и механики УрО РАН им. Н.  Н. Красовского, 2020. — С. 70—71; (0.2 п.л. / 0.03 п.л.)
6. Уколов С. С. Визуализация решения задачи PCGTSP / С. С. Уколов. — 2020 — URL: https://ukoloff.github.io/j2pcgtsp/.
7. Уколов С. С. Конвертеры открытых форматов для САПР «Сириус» / С. С. Уколов. — 2019 — URL: https://github.com/ukoloff/dbs.js.
8. Уколов С. С. Описание формата DBS / С. С. Уколов, В. И. Кротов. — 2018 — URL: https://github.com/ukoloff/dbs.js/wiki/DBS.
9. Петунин А. А. САПР «Сириус» – оптимизация раскроя и резки листовых материалов в единичном производстве / А. А. Петунин, В. И. Кротов, С. С. Уколов, В. В. Видяпин // САПР и графика. — 1999. — No 10. — С. 42–48; (0.4 п.л. / 0.1 п.л.)

Диссертация «Разработка алгоритмов оптимальной маршрутизации инструмента для САПР управляющих программ машин листовой резки с ЧПУ» Уколова Станислава Сергеевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 «Системы автоматизации проектирования (промышленность)».

В голосовании принял участие 21 человек. Результаты голосования: за – 21 чел., против – нет, воздержалось – нет.

|  |  |
| --- | --- |
| Куреннов Дмитрий Валерьевич,  к.т.н., доцент,  заведующий кафедрой  «Информационные технологии  и автоматизация проектирования» |  |