УДК 004.94

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА БАЗЕ ОНТОЛОГИИ

И. Л. Артемьева[1] [0000-0003-2088-5259], А. Е. Чусова[2] [0000-0002-8263-2559]

[1, 2]*Департамент программной инженерии и искусственного интеллекта Дальневосточного федерального университета*

[1]artemieva.il@dvfu.ru, [2]chusova.ae@dvfu.ru

Аннотация

Представлен программный комплекс, который позволит специалистам в области архитектурной акустики выбрать наиболее подходящие способы моделирования звука и подбора отделочных материалов в зависимости от поставленных задач и параметров помещения. Отличительной особенностью данной системы является наличие онтологии предметной области, описывающей термины и связи между понятиями, а также модулей для решения различных задач в области архитектурной акустики. Подобный подход позволит рекомендовать пользователю наиболее подходящие для его запроса методы моделирования вследствие учета специфики помещения и функциональных требований клиента. Программная система позволит по запросу оптимизировать и распараллелить программы, которые написаны с помощью предметно-ориентированного языка программирования.

Описаны принципы анализа программного кода для выявления участков экономии и применения трансформаций, представленных в банке паттернов. Рассмотрен также подход к построению предметно-ориентированного языка программирования, основанного на онтологии предметной области ODSL (Ontology-Based Domain-Specific Language) и позволяющего специалистам описывать алгоритмы, не вникая в используемые методы оптимизации и распараллеливания. Новизна работы заключается в предложенной архитектуре модулей, основанных на прикладной онтологии, что позволяет адаптировать решение под другие предметные области.

Ключевые слова*: онтология, архитектурная акустика, оптимизация, параллелизм, ODSL*

© И. Л. Артемьева, А. Е. Чусова, 2023.
Данная статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

ВВЕДЕНИЕ

Задачи вычислительной акустики обладают рядом особенностей, одна из которых заключается в том, что длина волны зачастую сравнительно больше длины помещения. Если расстояние от источника до преграды меньше половины длины волны, то возникают сложности анализа, обусловленные ближней зоной поля: поскольку звук на этом участке не установлен, соотношения сил и полей имеют зависимости, сложные для измерения и предсказания.

Ещё одной особенностью является наличие как объективных показателей акустики помещения, таких как время реверберации, так и субъективных, целиком зависящих от человеческого восприятия. Для моделирования акустических процессов с учётом физиологии слуха используют методы аурализации, где искажения моделируются набором передаточных функций.

Наличие множества моделей, описывающих распространение звука с разной степенью достоверности, также является отличительной чертой вычислительной акустики. На сегодняшний момент не существует единой модели, позволяющей в полной мере учесть все акустические процессы, а факторов, влияющих на звучание, настолько много, что множество исследователей всё ещё работает над созданием других моделей. Обозревая работы, невозможно однозначно решить, какая из представленных в них моделей является наилучшей. Таким образом, специалисты должны иметь чёткое представление о применимости тех или иных методов решения задач для достижения акустического комфорта.

Также стоит взять во внимание высокую вычислительную сложность процессов моделирования звука, особенно для случая больших помещений. В связи с этим возникает необходимость в применении различных оптимизаций, в том числе методов распараллеливания. В существующих компиляторах наборы оптимизаций, а также стратегии их выполнения, являются фиксированными. Это не только осложняет поиск оптимальной последовательности преобразований, но и может привести к замедлению работы программы, поскольку оптимизации могут влиять друг на друга. Таким образом, возникает необходимость в индивидуальной оценке применимости не только алгоритмов решения акустических задач, но и набора оптимизаций для каждого из них для достижения наибольшей оперативности вычислений.

Целью данной работы является описание архитектуры программной системы, позволяющей решать различные задачи в области архитектурной акустики за счёт набора модулей, с возможностью оптимизации программного кода методов, реализованных на предметно-ориентированном языке.

Научная новизна работы заключается в предложенной архитектуре модулей с использованием онтологии предметной области и последующем использовании терминов для реализации алгоритмов.

Статья организована следующим образом: в разделе 2 кратко описаны базовые компоненты системы, а также сценарии использования. В разделе 3 приведена архитектура модулей решения акустических задач с использованием онтологии: рекомендация методов моделирования звука и подбор материалов на основе дизайна помещения. В разделе 4 описан модуль оптимизации и распараллеливания с использованием предметно-ориентированного языка. Раздел 5 включает описание механизмов анализа зависимостей с использованием графа программы и контекстных формул. В разделе 6 описан подход к оптимизации программ на основе их профиля. В разделе 7 сделаны краткие выводы.

БАЗОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ

На рис. 1 приведена верхнеуровневая диаграмма программной системы рекомендации методов моделирования. Выделены следующие базовые компоненты: подсистема постановки акустической задачи, графическая подсистема, онтология предметной области, библиотеки методов решения задач, оптимизаций и параллельных стратегий. Программный комплекс включает в себя набор модулей и имеет возможность добавления новых модулей для расширения области применимости системы. В данный момент спроектированы подсистемы получения рекомендации об оптимальных методах моделирования звука в различных помещениях, а также оптимизации и распараллеливания их программной реализации.

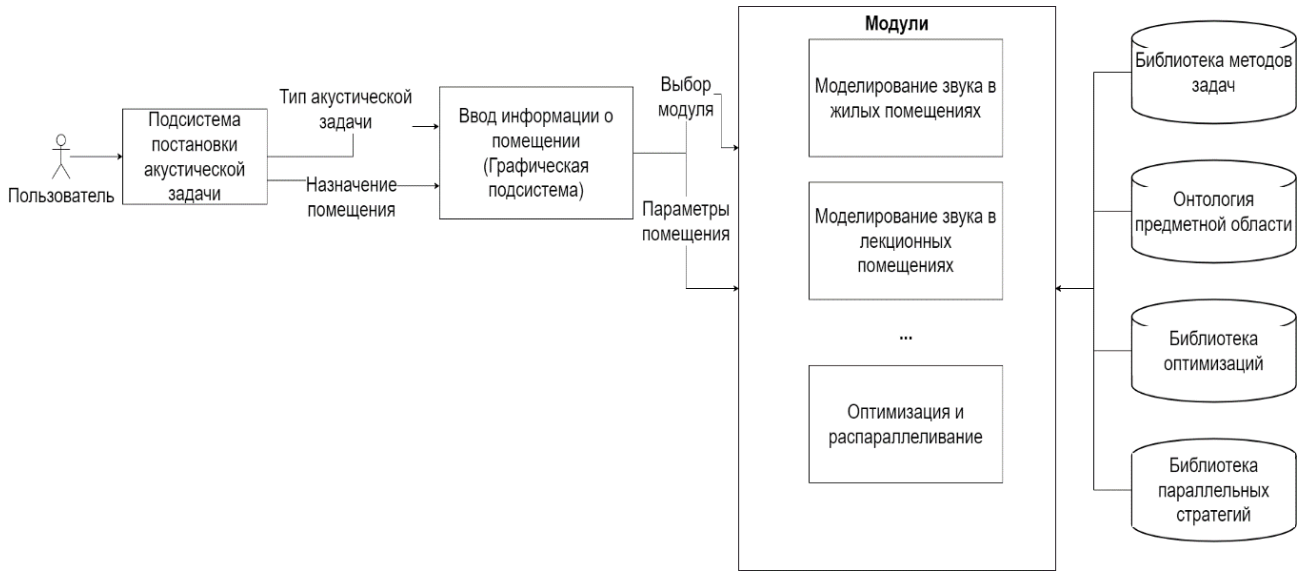

Рис. 1. Верхнеуровневая диаграмма системы

Работа пользователя с комплексом начинается с постановки задачи, поскольку от этого зависит, какие модули необходимо будет задействовать. Процесс выбора модуля показан на рис. 2.

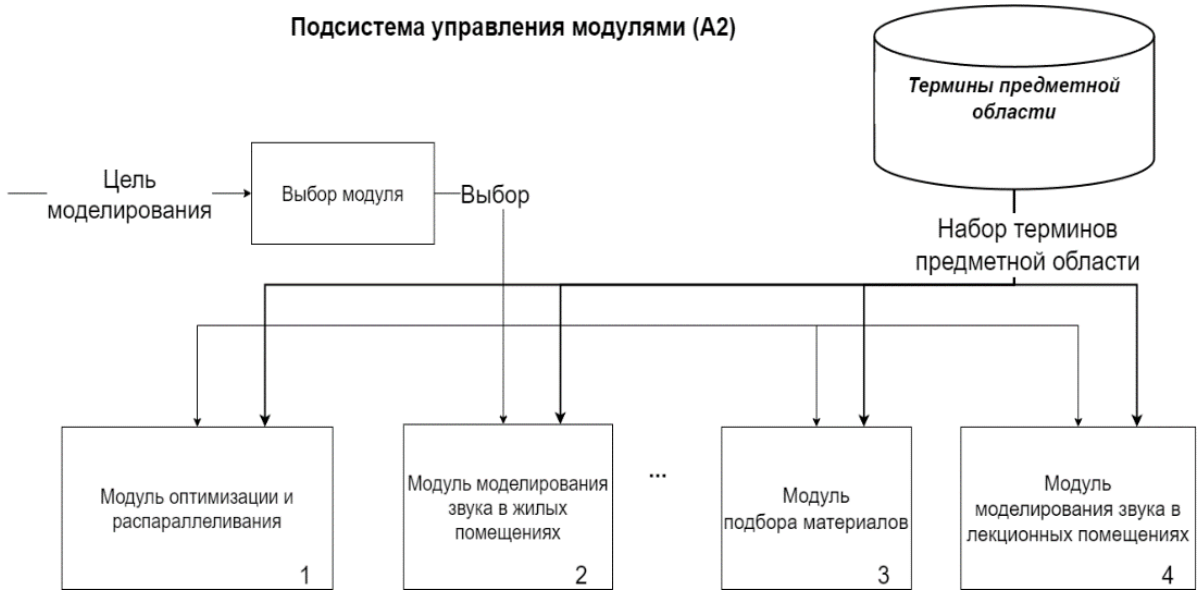

Рис. 2. Структура модуля моделирования звука

Поскольку система включает в себя разнообразные модули, требующие различных входных данных, графическая подсистема предоставляет пользователю инструменты для их ввода в зависимости от задачи и целевого назначения помещения (рис. 3).

Интерфейс данной подсистемы подстраивается под задачу, отображая необходимые параметры. Так, например, для моделирования звука будут отображены поля создания проекта помещения, загрузки готового файла описания строения, различные чертежные инструменты – стены, источники звука и его приёмники. В случае задач подбора материалов для создания определенного акустического оформления помещения больший упор будет сделан на требуемое время реверберации.

Рис. 3. Графическая подсистема

Подобный гибкий интерфейс строится с использованием базы знаний о предметной области, где термины описывают набор свойств, определяющих, для каких модулей может понадобиться ввести значение данного параметра, задаваемого термином [1]. Так, для описания задач, решаемых системой, введен класс Task. В данный момент Task включает в себя подзадачи Selection_materials (выбор акустических материалов на основе дизайн-проекта помещения) и Simulation_sound (моделирование звука). Каждая задача характеризуется набором терминов, которые задействованы в решении (связанные отношением Using_for_solving_term), набором формул, задействованных в расчёте (отношение Using_for_solving_method), результатом решения задачи (отношение

Solving_result), а также информация о видах помещений, для которых эта задача может быть решена (отношение Solving_for). Например, результатом решения задачи выбора материала является набор материалов (рис. 4).

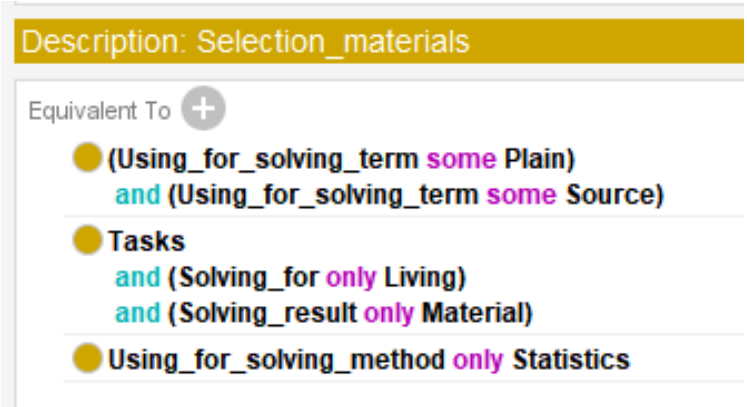

Рис. 4. Описание задачи подбора материалов Selection_materials

В дальнейшем описанную модель помещения можно будет выгрузить в XML-файл и использовать для получения рекомендаций по методам решения задач или моделирования звука в других системах.

Наличие большого количества методов моделирования обуславливает необходимость в различных классификациях, так как каждый из них может быть применен для нескольких видов акустических задач. С учетом этой особенности были выделены модули для решения различного класса задач с учётом их специфики, архитектура которых будет описана ниже. В дальнейшем специалисты предметной области сами смогут дополнять и создавать новые модули за счёт внедрения инструмента ввода новых терминов и условия выбора методов.

После выбора метода моделирования пользователь может модифицировать его программную реализацию на предметно-ориентированном языке, который основан на онтологии предметной области (Ontology-Based Domain-Specific Language, далее ODSL). В этом случае специалист может работать либо со стандартной реализацией выбранного метода, либо разработать его самостоятельно. Затем исходный код метода будет оптимизирован и распараллелен с учётом параметров вычислительных устройств.

Последним этапом является трансляция кода, написанного на языке ODSL, в код на C++ и генерация исполняемой библиотеки, совместимая с системой моделирования физических полей CAMaaS.

МОДУЛИ РЕКОМЕНДАЦИИ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Рассмотрим архитектуру подсистем, позволяющих подобрать оптимальные методы решения акустических задач. В случае задачи по рекомендации способов моделирования будут использованы модули, структура которых отражена на рис. 5.

Подсистема на основе введенных параметров помещения и условий выбора, описанных в онтологии, выдаёт рекомендации в пользу теорий описания акустических процессов и их методов с обоснованием принятых решений. Пример подобной онтологии представлен в работе [2].

Рис. 5. Структура модуля моделирования звука

Также доступна возможность подбора акустических материалов на основе дизайна помещения. Структура модуля представлена на рис. 6.

На вход модуля подается макет помещения — файл формата XML с описанием отражающих поверхностей. Каждая отражающая поверхность характеризуется парой (α, S), где S — площадь поверхности в квадратных метрах, α — множество искомых коэффициентов поглощения материала на основных октавных частотах (125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 6000 Гц). Возможно описание предполагаемой группы материалов, например, класс «Штукатурки», что позволит сузить набор предлагаемых материалов. Также пользователь вводит требуемое время реверберации $T_{треб}$ и необходимое звучание (звонкое, тихое, нейтральное поме-

щение). Поскольку $T_{треб}$ напрямую зависит от материалов отражающих поверхностей, но в то же может быть рассчитана по-разному [3–5], возникает потребность в обращении к онтологии методов статистической теории. Результатом решения является множество наборов коэффициентов поглощения, при котором достигается наилучшая акустика.

Рис. 6. Структура модуля подбора материалов

МОДУЛИ ОПТИМИЗАЦИИ И РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ

Пользователь, помимо получения рекомендации о выборе метода решения задачи, может их разработать или использовать стандартную программную реализацию выбранного алгоритма, выполненную на предметно-ориентированном языке [6] с неявным параллелизмом [7]. После выбора метода решения задачи будет предложено модифицировать код с использованием предметно-ориентированного языка. Некоторые значимые термины предметной области, например, частота, амплитуда, а также арифметические операции и ряд функций, используются для описания алгоритма.

Далее созданные методы моделирования по запросу пользователя могут быть оптимизированы, в частности, с использованием технологий распараллеливания, с учётом архитектуры вычислительных узлов. Модуль оптимизации и распараллеливания представлен на рис. 7.

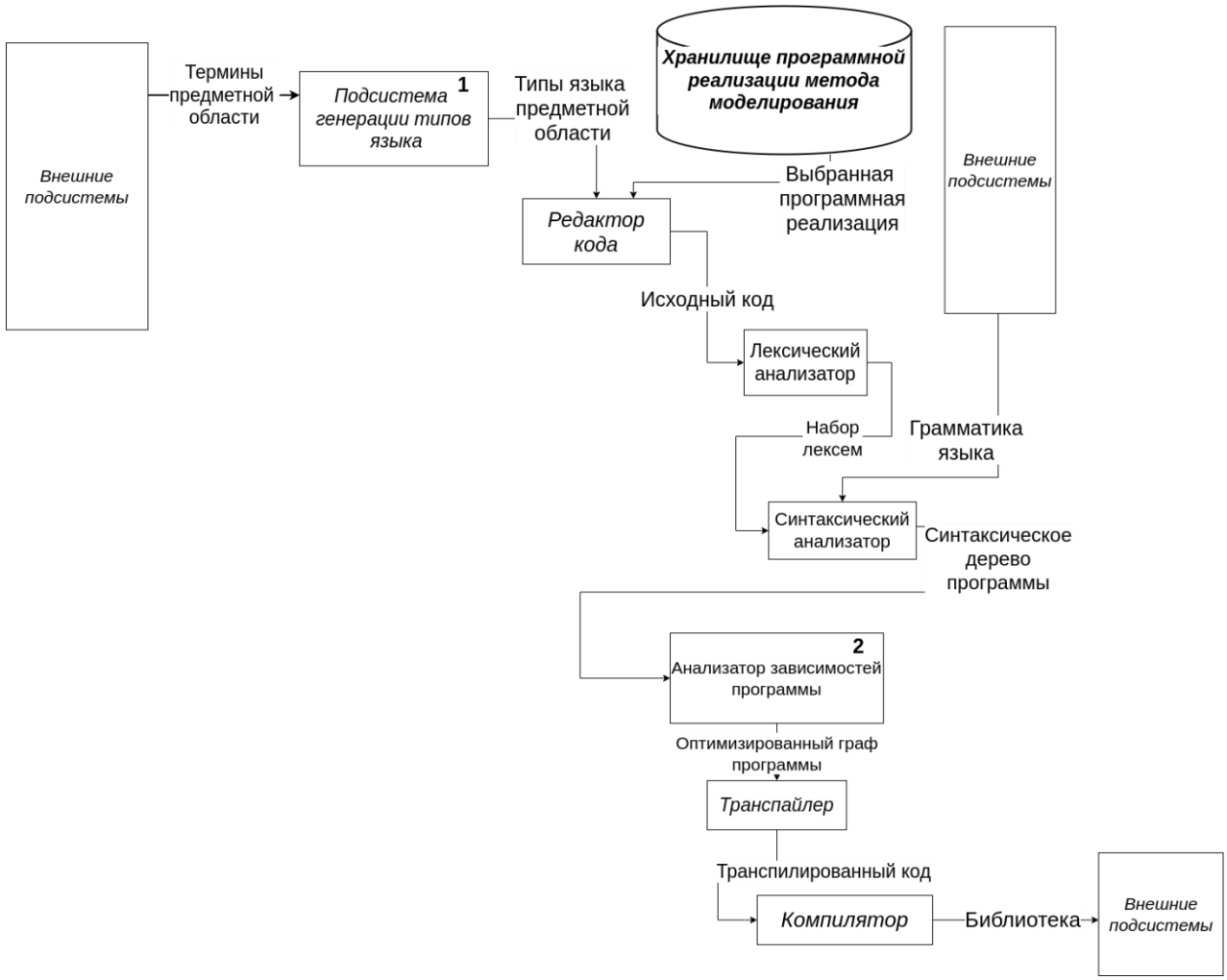

Рис. 7. Структура модуля оптимизации и распараллеливания

Методы моделирования описаны с помощью терминов предметной области, а также содержат набор метаданных, позволяющих определить множество задач, решаемых данным алгоритмом.

Язык включает в себя типы данных, ассоциированных с множеством терминов предметной области (рис. 8), методы, заданные отношением Has_term_method, позволяющие взаимодействовать между объектами этого типа, а также множество свойств, характеризующее эти объекты (Has_many, Has_single). Методы (термины класса Term_method) имеют множество входных параметров, задаваемых отношением Has_argument.

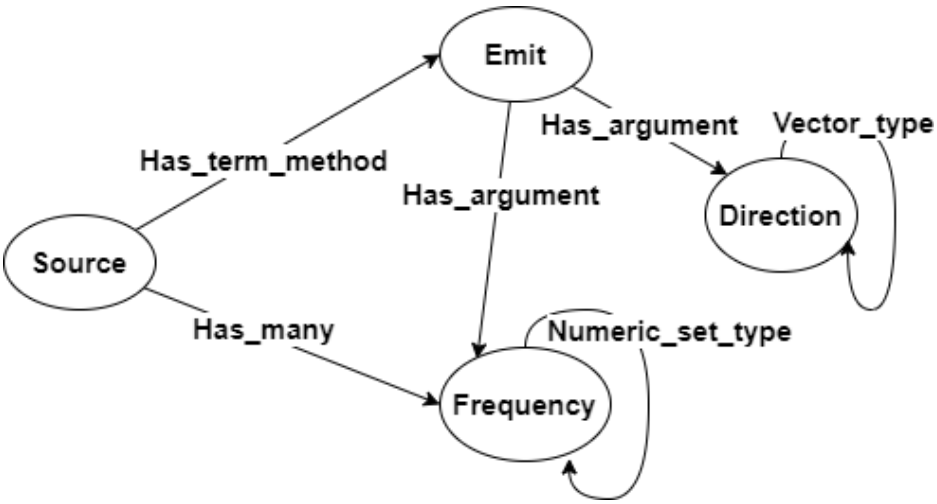

Рис. 8. ODSL-тип Source

Система генерации типов языка предметной области отражена на рис. 9.

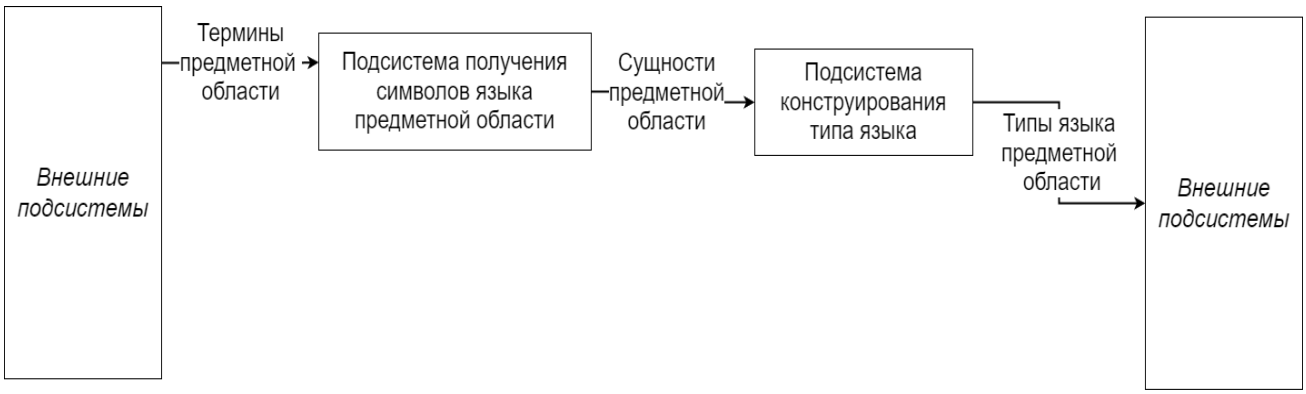

Рис. 9. Структура подсистемы генерации типов языка

Данная подсистема представляет собой сервис, который обращается к онтологии предметной области посредством запросов, получая термины со свойствами в формате RDF/XML, после чего свойства и отношения преобразуются в типы, которые в дальнейшем будут задействованы в реализации программ.

Алгоритм преобразования термина онтологии в класс представлен на рис. 10.

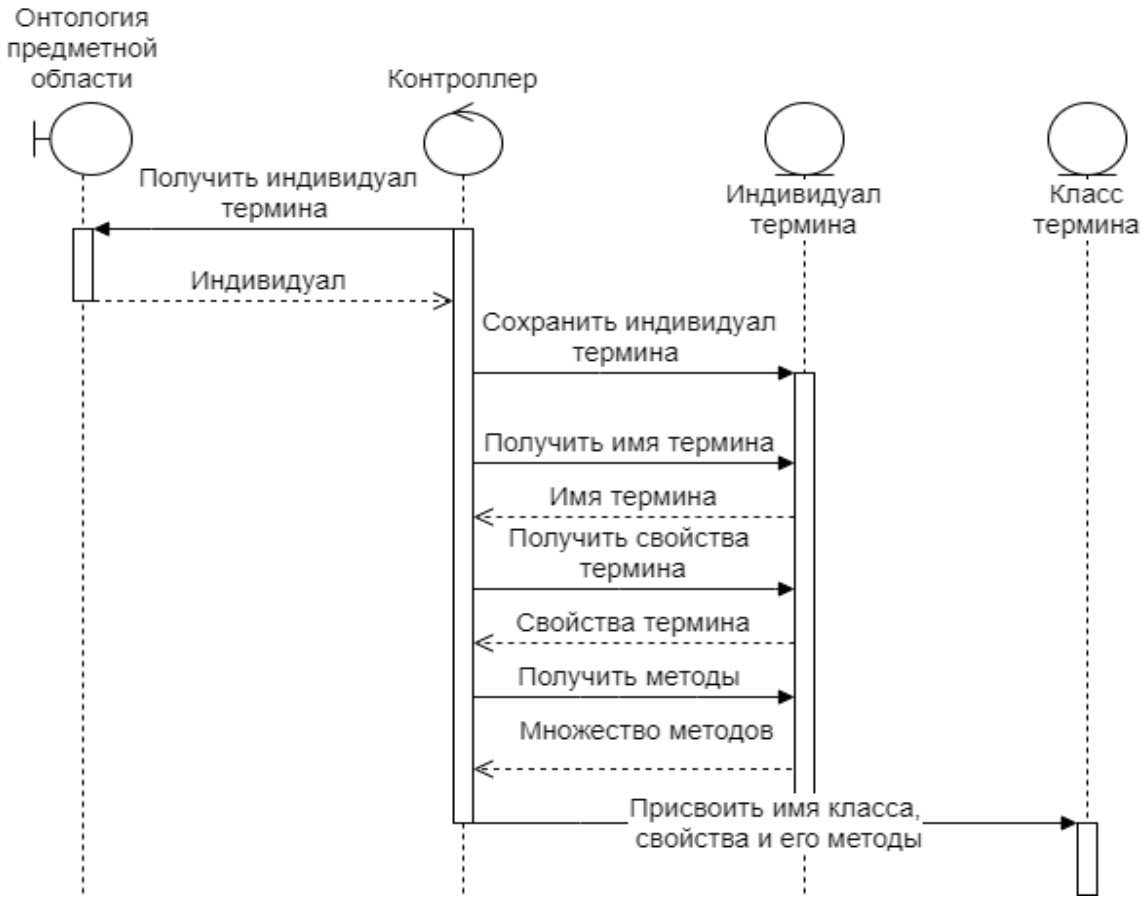

Рис. 10. Структура подсистемы генерации типов языка

Программный код метода на языке ODSL может быть выбран из базы готовых реализаций или же создан самим пользователем в редакторе кода. Далее текст программы анализируется для выявления участков экономии и определения наиболее подходящих преобразований.

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРОГРАММЫ

Прежде чем применять оптимизации и, в частности, распараллеливание, необходимо найти участки кода, которые потенциально могут быть преобразованы.

Наиболее традиционным подходом является использование графа зависимостей программы (Program Dependency Graph, далее PDG), отражающего связи по данным и управлению [8]. Несмотря на естественность и понятность подхода, он имеет существенный недостаток: построение графа и его последующий анализ существенно замедляют процесс оптимизации.

Другой подход отражен в работах [9, 10], где представлена интеллектуальная система с использованием онтологий. Анализ программ, допускающий использование логического программирования, наследует преимущества декларативного анализа программ в плане производительности. Что еще более важно, он преодолевает три вышеупомянутых недостатка существующего декларативного анализа программ за счет стандартизации определений терминов предметной области и гибкого представления различных источников знаний. Логические правила имеет преимущество при анализе программы за счёт скорости поиска участков для последующих преобразований, поскольку их применение не занимает столь большого времени, что и построение графа.

Перечисленные выше подходы реализованы в подсистеме анализа зависимостей программы. Детальнее анализатор зависимостей рассмотрен на рис. 11.

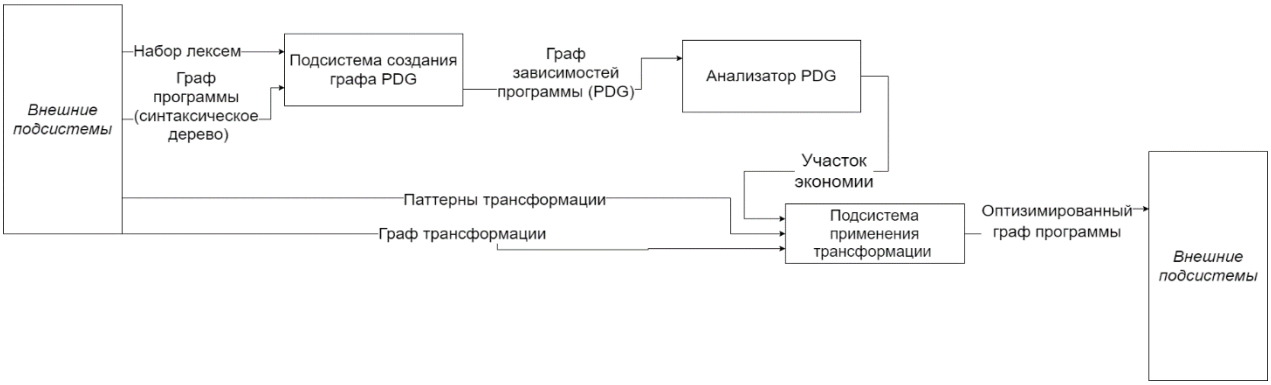

Рис. 11. Структура анализатора зависимостей

На вход системы подаются граф программы, знания о моделях структурных программ, а также набор преобразований, каждое из которых содержит алгоритм трансформации и условие, в контексте которого оно применяется. Подсистемы занимаются поиском фрагментов моделей программ, обращаясь к банку паттернов. Хранилище оптимизаций и параллельных стратегий будет хранить графы паттернов (рис. 12), которые необходимо обнаружить, чтобы применить трансформацию, которая также представлена в виде графа; результатом работы модуля является участок экономии – минимальная часть программы, внутри которой будут происходить преобразования. Затем осуществляется замена участка эконо-

мии оптимизированным фрагментом кода. Таким образом, задача анализа зависимости сводится к задаче поиска изоморфного подграфа (в данном случае паттерна) графа зависимостей программы.

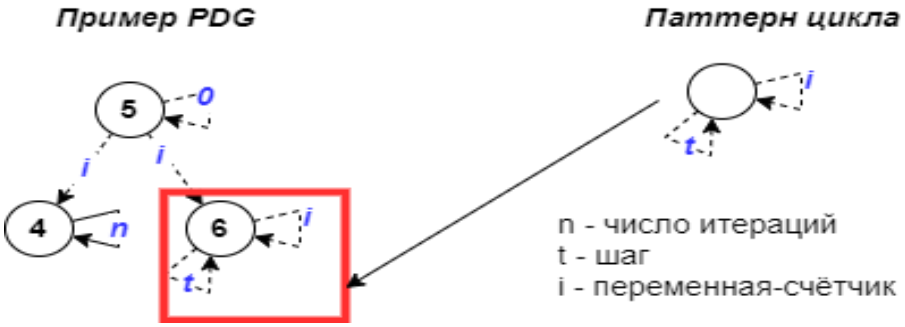

Рис. 12. Поиск паттерна цикла в PDG

ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ПРОФИЛЯ ПРОГРАММЫ

Поскольку вычислительные мощности ограничены, необходим индивидуальный подход к определению последовательности преобразований программ. Для подобных оптимизаций, частным случаем которых является распараллеливание, применяется профиль программы. Этот подход позволяет подстроить существующие оптимизации из банка знаний с учётом детальных параметров архитектуры, например, размер кэша и наличие векторных инструкций.

Подход на основе профиля программы продемонстрирован в работе [11], где рассмотрен ряд оптимизаций, применяемых в системе двухэтапной компиляции. Первым этапом преобразований является создание профиля программы, который содержит информацию о подключенных модулях, размерах и именах его функций. В дальнейшем в зависимости от оптимизации происходит оценка блока или функции, где каждому элементу присваивается вес, который зависит от частоты вызова. На основе выделенной информации принимается решение о применении оптимизаций.

Отдельно стоит обратить внимание на преобразования данных. Несмотря на рост производительности процессоров, до сих пор отмечаются проблемы с ускорением как последовательных, так и параллельных программ. В данный момент основным узким местом является скорость доступа к данным. Учёт структуры данных может оказать существенно влияние на производительность. Под-

ход, учитывающий эти особенности, описан в работе [12] и известен как проектирование на основе данных. Этот подход представляет собой дизайн, ориентированный на данные, который фокусируется на наилучшем размещении данных для центрального процессора и кэш-памяти, что позволяет существенно ускорить выполнение как последовательного, так и параллельного кода [13, 14].

Подход с созданием профиля программы является перспективным, а его недостатки в виде затрат на создание профиля можно скомпенсировать, задействовав контекстные формулы для сбора характеристик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрена архитектура системы решения различного рода задач в области архитектурной акустики. Система позволит решать широкий круг задач, адаптируясь под запросы пользователя. Отличительной особенностью программного комплекса является использование модулей на основе онтологии предметной области для рекомендации методов и разработки библиотек для моделирования, что облегчает акустикам взаимодействие с системой, поскольку для обоснования рекомендаций и разработки кода используются общепринятые понятия из архитектурной акустики. Представленная архитектура программного комплекса может быть масштабирована и распространена на другие предметные области, что, несомненно, облегчит решение задач, с которыми специалисты сталкиваются каждый день.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Грибова В.В., Федорищев Л.А.* Адаптивный генератор-WIMP-интерфейса редакторов базы знаний на основе онтологии // Вестн. Том. гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика. Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2019. С. 110–119. https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnyy-generator-shmr-interfeysa-redaktorov-bazy-znaniy-na-osnove-ontologii

2. *Чусова А.Е.* Онтология методов моделирования в области архитектурной акустики // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2023. № 1(61). С. 140–149.

3. ГОСТ Р 52797.1. Акустика. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛОШУМНЫХ РАБОЧИХ МЕСТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ. Часть 1. Принципы защиты от шума. Введ. 2008-07-01. М.: Стандартинформ, 2008. 32 с. (Технический комитет по стандартизации ТК 358 «Акустика»).

4. СП 415.1325800.2018. Здания общественные. Правила акустического проектирования. Введ. 2018-05-16. М.: Минстрой России, 2018. 31 с. (Технический комитет по стандартизации ТК 465 «Строительство»).

5. *Чебанов А.Д.* Приближенная оценка времени реверберации для залов различного функционального назначения: учебно-методические указания. М.: МАРХИ, 2012. 36 с.

6. *Walter T., Parreiras F. S., Staab S.* OntoDSL: An Ontology-Based Framework for Domain-Specific Languages // Model Driven Engineering Languages and Systems. MODELS 2009. Lecture Notes in Computer Science, vol 5795. Berlin: Springer, 2009. P. 408–422. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-04425-0_32

7. *Касьянов В.Н., Касьянов Е.В.* Методы и технологии конструирования эффективных и надежных программ и программных систем на основе графовых моделей и семантических преобразований // Системная информатика. Новосибирск: Институт систем информатики СО РАН, 2021. №19. С. 1–14. https://doi.org/10.31144/si.2307-6410.2021.n19.p1-14.

8. *Yamaguchi F., Golde N., Arp D., Rieck K.* Modeling and discovering vulnerabilities with code property graphs // 35th IEEE Symposium on Security and Privacy. San Jose, 2014. P. 590–604.

9. *Yue Z., Liao G., Shen X.* Towards Ontology-Based Program Analysis // The 30th European Conference on Object-Oriented Programming. Rome, 2016. P. 26:1–26:25.

10. *Selvaraj G.K.* Improving Program Analysis using Efficient Semantic and Deductive Techniques. PhD thesis, The University of Auckland, 2022, 203 pp. https://researchspace.auckland.ac.nz/handle/2292/64360

11. *Курмангалеев Ш.Ф.* Методы оптимизации Си/Си++ приложений, распространяемых в биткоде LLVM с учетом специфики оборудования // Труды ИСП РАН. М.: ИСП РАН, 2013. Т. 24, №1. С. 127–144.

12. *Faryabi W.* Data-oriented Design approach for processor intensive games. Master thesis, Norwegian University of Science and Technology, 2018, 179 pp. https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2575669

13. *Артемьева И.Л., Чусова А.Е., Чусов А.А.* Моделирование конкуренции за кэш в многоядерном процессоре // Вычислительные технологии и прикладная математика: Материалы II Международного семинара, Благовещенск, 12–16 июня 2023 года / Отв. редактор А.Г. Масловская. Благовещенск: Амурский государственный университет, 2023. С. 22–24.

14. *Чусов А.А., Чусова А.Е., Смадыч Н.С.* Алгоритмы высокопроизводительной рекуррентной аффинной обработки данных и сигналов и метод улучшения локальности ввода-вывода. 2023. № 4, часть 1. С. 242–250.

AUTOMATED SYSTEM FOR SELECTING OPTIMAL METHODS FOR SOLVING ACOUSTIC PROBLEMS BASED ON ONTOLOGY

I. L. Artemieva[1] [0000-0003-2088-5259], A. E. Chusova[2] [0000-0002-8263-2559]

[1, 2]*Department of Software Engineering and Artificial Intelligence Far Eastern Federal University;*

[1]artemieva.il@dvfu.ru, [2]chusova.ae@dvfu.ru

Abstract

The report presents the software package that will allow specialists in the field of architectural acoustics to choose the most appropriate methods for modeling sound and selecting finishing materials depending on the tasks and parameters of a building A distinctive feature of this system is the presence of an ontology of the subject area that describes the terms and relationships between concepts, as well as modules for solving various problems in the field of architectural acoustics. Such an approach will allow the user to recommend the most suitable simulation methods for one's request due to considering the specifics of the premises and the functional requirements of the client. The on-demand software system allows to optimize and parallelize programs written in a domain-specific programming language. The paper describes the principles

of source code analysis to identify critical areas and modify them using a bank of patterns. The report also discusses an approach to develop a domain-specific programming language based on domain ontology, ODSL (Ontology-Based Domain-Specific Language), which allows specialists to describe algorithms not accounting for different specific optimization and parallelization methods. The novelty of the work lies in the proposed architecture of modules based on applied ontology, which makes it possible to adapt the solution to other subject areas.

Keywords*: ontology, architectural acoustics, optimization, parallelism, ODSL.*

REFERENCES

1. *Gribova V.V., Fedorishchev L.A.* Adaptivnyi generator-shmr-interfeisa redaktorov bazy znanii na osnove ontologii // Vestn. Tom. gos. un-ta. Upravlenie, vychislitelnaia tekhnika i informatika. Tomsk: Natsionalnyi issledovatelskii Tomskii gosudarstvennyi universitet, 2019. S. 110–119.
https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnyy-generator-shmr-interfeysa-redaktorov-bazy-znaniy-na-osnove-ontologii

2. *Chusova A.E.* Ontologija metodov modelirovanija v oblasti arhitekturnoj akustiki // Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tehnologii. 2023. № 1(61). S. 140–149.

3. GOST R 52797.1. Akustika. REKOMENDUEMYE METODY PROEKTIRO-VANIJa MALOShUMNYH RABOChIH MEST PROIZVODSTVENNYH POMEShhENIJ. Chast' 1. Principy zashhity ot shuma. Vved. 2008-07-01. M.: Standartinform, 2008. 32 s. (Tehnicheskij komitet po standartizacii TK 358 «Akustika»).

4. SP 415.1325800.2018. Zdanija obshhestvennye. Pravila akustiche-skogo proektirovanija. Vved. 2018-05-16. M.: Minstroj Rossii, 2018. 31 s. (Tehnicheskij komitet po standartizacii TK 465 «Stroitel'stvo»).

5. *Chebanov A.D.* Priblizhennaja ocenka vremeni reverberacii dlja za-lov razlichnogo funkcional'nogo naznachenija: uchebno-metodicheskie ukazanija. M.: MARHI, 2012. 36 s.

6. *Walter T., Parreiras F.S., Staab S.* OntoDSL: An Ontology-Based Framework for Domain-Specific Languages // Model Driven Engineering Languages and Systems.

MODELS 2009. Lecture Notes in Computer Science, vol 5795. Berlin: Springer, 2009. P. 408–422. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-04425-0_32

7. *Kasianov V.N.* Integrirovannaia vizualnaia sreda podderzhki konstruirovaniia parallelnykh programm // Problemy informatiki. Novosibirsk: Institut vychislitelnoi matematiki i matematicheskoi geofiziki SO RAN, 2008. №1. S. 59–66. https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnyy-generator-shmr-interfeysa-redaktorov-bazy-znaniy-na-osnove-ontologii

8. *Yamaguchi F., Golde N., Arp D., Rieck K.* Modeling and discovering vulnerabilities with code property graphs // 35th IEEE Symposium on Security and Privacy. San Jose, 2014. P. 590–604.

9. *Yue Z., Liao G., Shen X.* Towards Ontology-Based Program Analysis // The 30th European Conference on Object-Oriented Programming Rome, 2016. P. 26:1–26:25.

10. *Selvaraj G.K.* Improving Program Analysis using Efficient Semantic and Deductive Techniques. PhD thesis, The University of Auckland, 2022, 203 pp. https://researchspace.auckland.ac.nz/handle/2292/64360

11. *Kurmangaleev Sh.F.* Metody optimizatsii Ci/Ci++ prilozhenii rasprostraniaemykh v bitkode LLVM s uchetom spetsifiki oborudovaniia // Trudy ISP RAN. M.: ISP RAN, 2013. T. 24, №1. S. 127–144.

12. *Faryabi W.* Data-oriented Design approach for processor intensive games. Master thesis, Norwegian University of Science and Technology, 2018, 179 pp. https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2575669

13. *Artem'eva I.L., Chusova A.E., Chusov A.A.* Modelirovanie konkurencii za kjesh v mnogo-jadernom processore // Vychisli-tel'nye tehnologii i prikladnaja matematika : Materialy II Mezhduna-rodnogo seminara, Blagoveshhensk, 12–16 ijunja 2023 goda / Otv. redaktor A.G. Maslovskaja. Blagoveshhensk: Amurskij gosudarstvennyj universitet, 2023. S. 22–24.

14. *Chusov A.A., Chusova A.E., Smadych N.S.* Algoritmy vysokoproizvoditel'noj rekurrentnoj affinnoj obrabotki dannyh i signalov i metod uluchshenija lokal'nosti vvoda-vyvoda. 2023. № 4 chast' 1, S. 242–250.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

АРТЕМЬЕВА Ирина Леонидовна – доктор технических наук, профессор, профессор Департамента программной инженерии и искусственного интеллекта Института математики и компьютерных технологий Дальневосточного федерального университета.

Irina Leonidovna ARTEMIEVA – Dr. Sci. (Eng), Professor, professor of the Department software engineering and artificial intelligence of the Institute of Mathematics and Computer Technologies Far Eastern Federal University.

email: artemieva.il@dvfu.ru

ORCID: 0000-0003-2088-5259]

ЧУСОВА Алина Евгеньевна – аспирант, ассистент Департамента программной инженерии и искусственного интеллекта Института математики и компьютерных технологий Дальневосточного федерального университета.

Alina Evgenevna CHUSOVA – graduate student, assistant of the Department software engineering and artificial intelligence of the Institute of Mathematics and Computer Technologies Far Eastern Federal University

email: chusova.ae@dvfu.ru

ORCID: 0000-0002-8263-2559

Материал поступил в редакцию 12 декабря 2023 года