

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. М.В.ЛОМОНОСОВА
МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УДК 519.95; 007:159.955

Псиола В.В.

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА PASKER3D

Москва 2009 г.

Содержание

1	Введение	3
2	Краткое описание алгоритма packer3d	3
3	Особенности программной реализации	5
4	Внедрения программных систем на базе алгоритма packer3d	8
4.1	Линейка программных продуктов packer3d-ver3	8
4.2	Online-сервис расчёта www.packer3d.ru	11
4.3	Внедрение в ОАО «Пивоваренная компания Балтика»	13
4.4	Внедрение в группе компаний «Русклимат»	14
4.5	Внедрение в ОАО «Мебельная компания Шатура»	15
5	Заключение	16

1 Введение

Одной из актуальных задач современной транспортной логистики является задача оптимального размещения груза на складе и в транспортных средствах. Эти задачи являются 3-х мерными аналогами классических NP-полных задач «о рюкзаке» и «об упаковке в контейнеры» [1] и тоже являются NP-полными [3]. То есть нахождение наилучшего решения с помощью известных алгоритмов является неприемлемо долгим уже для небольшого количества предметов для упаковки.

В работе [3] предложен алгоритм `Packer3d` для нахождения приближённого решения этих задач на основе эвристик за полиномиальное время. Эксперименты показали, что этот алгоритм даёт в среднем решения не хуже, чем 0.85 от наилучшего, что вполне приемлемо для практических задач. С точки зрения практического применения, наиболее критичным является не качество укладки, а возможность учёта дополнительных ограничений на установку предметов и конфигурацию контейнера. Предложенный в работе [3] алгоритм позволяет не только быстро находить приемлемый вариант укладки предметов, но и быть легко адаптированным к тем или иным ограничениям на расстановку предметов и конфигурацию контейнера. Подобные особенности алгоритма накладывают серьёзные требования к его программной реализации, которые описаны в данной статье.

2 Краткое описание алгоритма `packer3d`

Подробное описание алгоритма приведено в работе [3], а вкратце его идея заключается в следующем (см. рис. 1):

1. Из предметов, которые требуется упаковать в контейнер комбинируются всевозможные прямоугольные блоки. Блоком называется набор предметов поставленных рядом, так что они образуют параллелепипед без щелей и пустот и представляющий собой аналог 3-х мерного

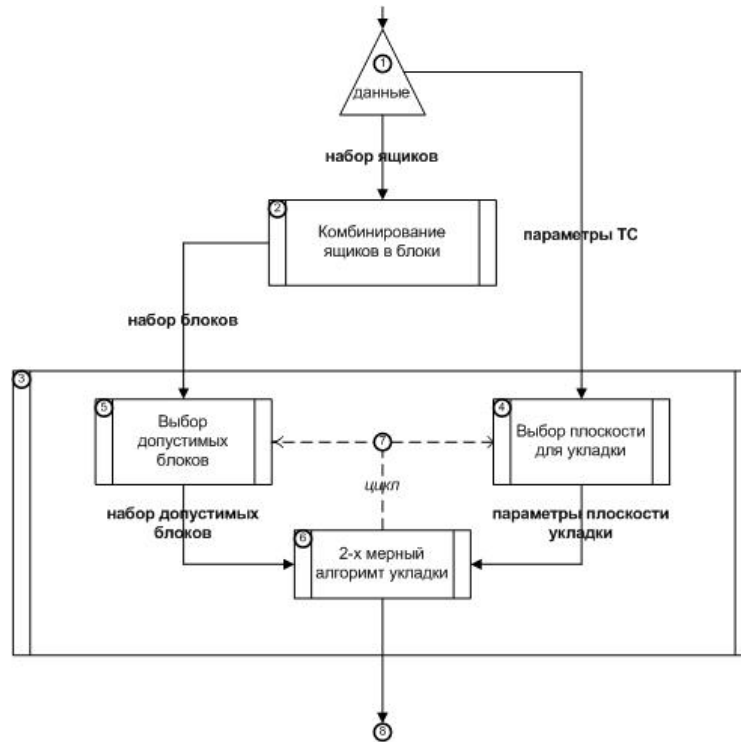


Рис. 1: Схема потоков данных алгоритма

предмета с другими размерами. В дальнейшем набор предметов и полученных блоков считается списком предметов для укладки. При укладке блока из списка удаляется не только он, но и все его составные части.

2. Сформированный набор предметов и блоков передается в алгоритм 3-х мерной укладки, который состоит из 3 частей:

(а) первая часть выбирает плоскость для укладки предметов, выбор плоскости для укладки является сведением задачи 3-х мерной укладки к задаче 2-х мерной укладки;

(б) вторая часть выбирает набор блоков, допустимых для укладки в текущую плоскость, при этом все эти блоки должны быть одной высоты для сведения 3-х мерной задачи для укладки к 2-х мерной задаче;

(с) третья часть является применением алгоритма 2-х мерной уклад-

ки к выбранной плоскости и допустимому набору блоков для укладки в эту плоскость.

3. Алгоритм 3-х мерной укладки выполняется до тех пор, пока не уложены все предметы заказа и в контейнере остается свободный объем для укладки предметов.
4. После того как все предметы уложены или объем заполнен полностью расчет оптимальной укладки предметов в контейнер считается завершенным.

3 Особенности программной реализации

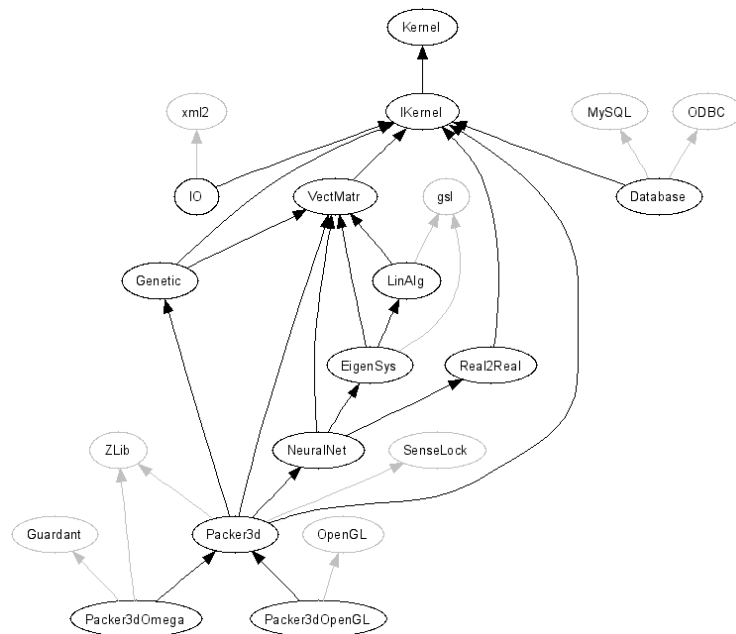


Рис. 2: Зависимость библиотек C++ классов

Описанный алгоритм имеет сугубо практическое значение и реализован в виде различных программных систем. Во-первых, это внедрения в информационные системы различных предприятий. Во-вторых, алгоритм реализован в виде линейки программных продуктов. В-третьих, алгоритм представлен в интернете виде бесплатного сервиса по расчету оптималь-

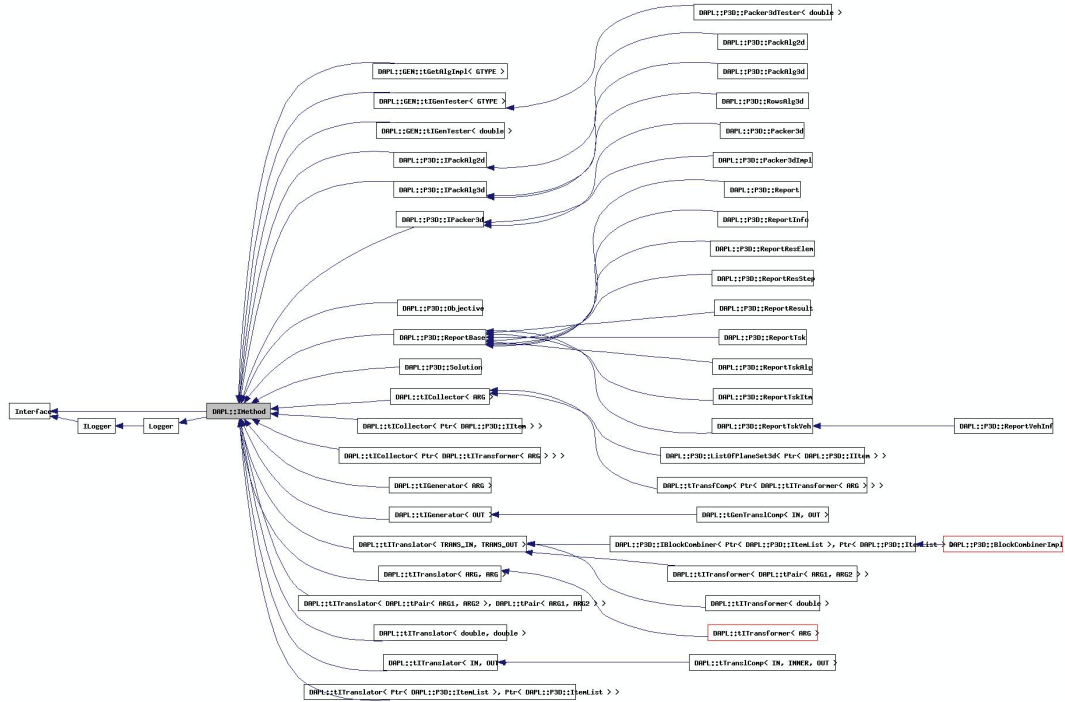


Рис. 3: Иерархия классов, реализующих методы алгоритма

ной укладки грузов в транспортные средства на сайте www.packer3d.ru. Интерес, который пользователи проявляют как программным продуктам, так и к online-сервису показывает, что реализация вполне приемлема и удобна для практического использования. По отзывам и анализу статистики использования можно сделать вывод, что успешное внедрение алгоритма на предприятии позволяет снизить расходы на грузоперевозки до **20%**. При этом скорость работы данной реализации алгоритма вполне приемлема при решении задач возникающих на практике. Например, даже с учетом различных дополнительных ограничений, скорость расчета оптимальной укладки 4000 предметов 100 различных типов составляет **меньше минуты** на компьютере с процессорной мощностью 2 гигагерца. Это при этом, что любой алгоритм поиска *наилучшего* решения будет работать неприемлемо долго (годы) уже для задачи из нескольких десятков предметов. Качество работы алгоритма (заполнения объема) существенным образом от параметров предметов, однако на практике качество в среднем составляет 80-90%, что является более высоким показателем,

по сравнению с качеством заполнения транспортного средства человеком (для количества предметов больше 100 и типов предметов больше 10).

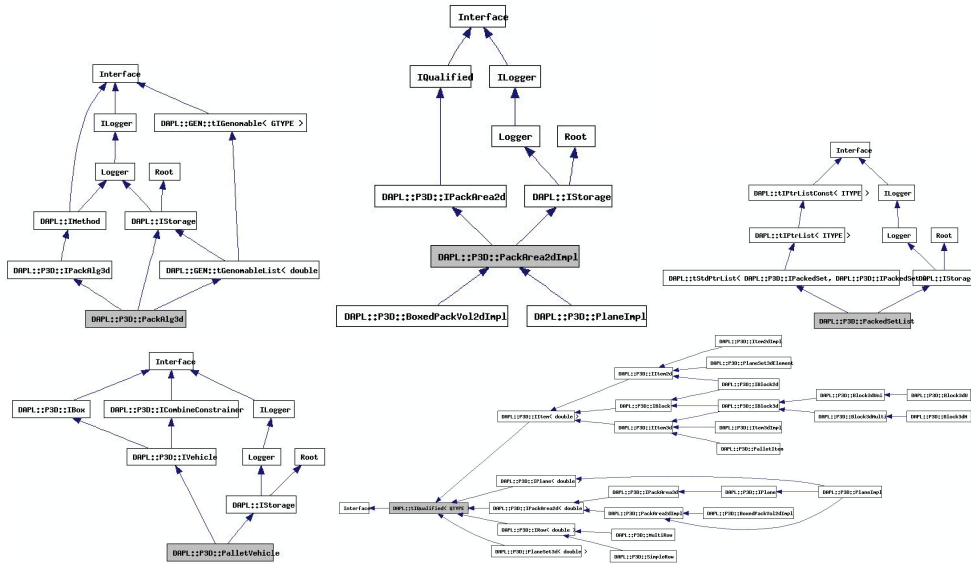


Рис. 4: Локальная иерархия базовых классов алгоритма

Алгоритм реализован в виде библиотеки методов на языке программирования высокого уровня C++. С учетом дополнительных функций и ограничение, которые учитывает алгоритм размеры исходный текстов составляют примерно 50 тысяч строк кода, распределенных по 158 файлам. Целиком алгоритм разбит реализован в нескольких библиотеках C++ классов, которые используя друг друга образуют граф зависимостей представленное на рисунке 2 (серыми стрелками обозначены зависимости от сторонних библиотек).

Структура объектно-ориентированной иерархии алгоритма такова, что допускает простое расширение базовой части алгоритма различными модификациями без существенного изменения ядра. Именно подобная структура легко расширять возможности реализованных программных систем и адаптировать алгоритм под различные требования конечных пользователей. Иерархия включает в себя 186 классов и интерфейсов, которые реализуют алгоритм. Показательная часть основной ветка иерархии классов представлена на рисунках 3 и 4.

Исходные тексты алгоритма зарегистрированы в реестре программ для ЭВМ федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, свидетельство № 2007614694.

4 Внедрения программных систем на базе алгоритма **packer3d**

Описанный в данной работе алгоритм 2, включая все его модификации, реализован внедрен в нескольких законченных программных системах. Все внедрения базируются на единой реализации алгоритма 3, который является уже **третьей** версией реализации, которая имеет принципиально новую структуру классов и особенности реализации по сравнению с предыдущими версиями. На основе первых двух версий алгоритма были реализованы коммерческие программные продукты **packer3d** и **packer3d-omega**, которые и сейчас поддерживаются, но считаются устаревшими и не распространяются на коммерческой основе.

4.1 Линейка программных продуктов **packer3d-ver3**

Линейка **packer3d-ver3** представляет собой набор полно-функциональных законченных «коробочных» программных продуктов, которые распространяются в виде ряда отдельных модификаций на коммерческой основе. Разные модификации имеют разный набор функциональных возможностей и стоимость, таким образом каждый пользователь может выбрать ту модификацию, которая оптимально ему подходит по соотношению цена/качество.

Помимо всех «алгоритмических» функциональных возможностей, продукты линейки **packer3d-ver3** содержат массу дополнительных «интерфейсных» функций, позволяющих пользователю эффективно использовать эти продукты и внедрять их в информационные системы предприятия. Можно перечислить следующий набор основных «интерфейсных»

функций, который характеризует широту возможностей программ:

- **Табличное представление параметров** - *параметры транспортного средства и предметов представлены в виде таблицы, для версий www и $www+R$ в виде таблицы представлены только параметры предметов.*
- **Представление результата в виде 3d-сцены** - *возможность просмотра схемы укладки в виде динамической 3d-сцены, с возможностью ее вращения, масштабирования и пошагового заполнения.*
- **Табличное представление результата** - *возможность просмотра схемы укладки в виде таблицы без дополнительной графической информации.*
- **Представление результата в виде отчета** - *возможность просмотра схемы укладки в виде отчета с пошаговым описанием укладки, где каждый шаг сопровождается текстовым описанием и графическими схемами.*
- **Отчеты с разной детализацией** - *возможность просмотра схемы укладки в виде различных отчетов, каждый из которых содержит разную детализацию схемы укладки.*
- **Редактирование и создание шаблонов отчетов** - *возможность редактировать и создавать свои шаблоны отчетов, с указанием степени детализации, текстовой и графической информации.*
- **Печать отчетов** - *возможность распечатки отчетов с результатами укладки.*
- **Экспорт/импорт таблиц через буфер обмена** - *возможность копирования через буфер обмена таблиц с параметрами и результатами расчета в приложения MS Excel и MS Word.*

- **Ввод собственных транспортных средств** - возможность определять транспорт собственного типа с указанными параметрами для расчета оптимальной загрузки.
- **Undo / redo** - возможность отката сделанных изменений при редактировании заказа.
- **Наличие базы данных стандартных транспортных средств в программе** - наличие базы данных стандартного набора транспортных средств, которые могут быть использованы пользователем в расчетах.
- **Сохранение / загрузка в формате MS Excel** - возможность сохранения и считывания данных для расчета (без результатов расчета) в формате MS Excel.
- **Дополнительные модули экспорта / импорта данных** - дополнительные модули экспорта/импорта для различных информационных систем, например, "1С".
- **Экспорт / импорт данных в XML-формате** - возможность сохранения и считывания параметров и результатов в XML-формате, доступном для разбора или формирования другими программами. Дистрибутив программы и демо-версии содержат подробное описание XML-формата.
- **Сохранение отчета в HTML** - возможность сохранения сгенерированных отчетов в формате HTML.
- **Сохранение отчета в PDF** - возможность сохранения сгенерированных отчетов в формате PDF.
- **Работа программы в скрытом режиме** - возможность запуска программы в скрытом режиме, когда она осуществляет расчет без отображения пользователю графического интерфейса, а по окончании расчета сохраняет результат в указанный файл и завершает

работу. Подобный режим используется при встраивании программы в бизнес-процессы клиента.

- **Генерация отчетов в скрытом режиме** - возможность запуска программы в скрытом режиме для генерации отчета с результатом укладки по указанному шаблону в формате HTML.
- **Интеграция с БД пользователя** - возможность запуска интеграции программы с БД пользователя, в этом случае все параметры и результаты расчета программа берет и хранит в БД пользователя.
- **Работа в режиме сервера** - возможность запуска программы в режиме сервера, когда программа автоматически производит расчет для всех новых заказов, которые появляются в базе данных и могут быть созданы программой-клиентом.
- **Наличие программы-клиента** - программа поставляется в совокупности с программой-клиентом, которая имеет неограниченное количество лицензий (возможностей для установки на разные компьютеры) и может быть использована для просмотра расчетов или создания новых заказов в единой БД.

Более подробно возможности линейки программных продуктов линейки **packer3d-ver3** можно оценить скачав демонстрационную версию программы с сайта www.packer3d.ru.

4.2 Online-сервис расчёта www.packer3d.ru

Для возможности разовых расчетов и оценки качества работы алгоритма пользователем система расчета оптимальной укладки предметов внедрен на сайте www.packer3d.ru в виде online-системы расчета.

Возможности системы online-расчета существенно ограничены по сравнению с продуктами линейки **packer3d-ver3**, однако их вполне достаточно для того чтобы оценить качество работы алгоритма и принять решение

о приемлемости внедрения системы в компании. Для зарегистрированных пользователей система предлагает достаточно широкий спектр возможностей, в том числе:

- **Ведение собственной базы предметов** - пользователь имеет возможность сохранять и редактировать собственную базу предметов, которая сохраняется на сервере и может быть доступна пользователю в любое время с любого компьютера с выходом в интернет. Все предметы в базе данных могут быть легко использованы при формировании нового расчета
- **Ведение собственной базы транспортных средств** - аналогично базе данных с параметра предметов, пользователь имеет возможность сохранять, редактировать и использовать для расчетов собственную базу транспортных средств.
- **Использование стандартной базы данных транспортных средств** - помимо возможности вносить параметры собственного транспортного средства пользователь на сайте представлена встроенная база данных транспортных средств, которые могут быть использованы пользователем в расчетах. База данных постоянно обновляется и на данный момент содержит 232 транспортных средства, включая контейнеры, вагоны, полувагоны, 2-х осные и 3-х осные грузовики, прицепы и фуры.
- **Представление результата в виде отчета** - возможность просмотра схемы укладки в виде различных отчетов с пошаговым описанием укладки, где каждый шаг сопровождается текстовым описанием и графическими схемами. При этом для пользователь на сайте представлены отчеты разной степени детализации.
- **Ведение архива осуществленных расчетов** - все сделанный пользователем расчеты в системе online-расчета сохраняются на сервере системы и пользователь можно в любое время просмотреть

результаты и схему укладки для любого сделанного расчета.

- **Безопасность передачи данных** - зарегистрированные пользователи работают с системой *online* расчетов по защищенному протоколу *HTTPS*, что обеспечивает полную конфиденциальность данных. При этом результаты каждого конкретного расчета пользователь может опубликовать в свободном доступе передать коллегам или партнерам в виде простой гиперссылки на страницу сервера расчетов.

Судя по статистике посещения и использования сайта система *online* расчетов оптимальной загрузки груза является востребованной и популярной среди пользователей рунета. В частности на несколько лет работы системы было произведено **более десяти тысяч расчетов оптимальной укладки**.

4.3 Внедрение в ОАО «Пивоваренная компания Балтика»

В 2008 году программа внедрена в ОАО «Пивоваренная компания Балтика» г. Санкт-Петербург в виде составной части единой информационной системы компании. В рамках этой системы алгоритм **packer3d** реализован на основе клиент-серверной архитектуры, работает на выделенном сервере и обчисляет все заказы на транспортировку продукции компании железной дорогой, которые поступают со всех филиалов компании по всей России. На основе результатов расчета, каждый заказ на транспортировку либо блокируется для последующей оптимизации (если имеется недогруз или перегруз), либо считается оптимальным и схема укладки предметов передается в отдел погрузки. При этом пользовательский интерфейс полностью реализован на основе *web*-технологий, что позволяет с любого компьютера с помощью любого интернет-браузера внутри сети компании просмотреть историю всех расчетов, статистику, осуществить поиск расчета и для каждого расчета просмотреть подробную информацию и пошаговую

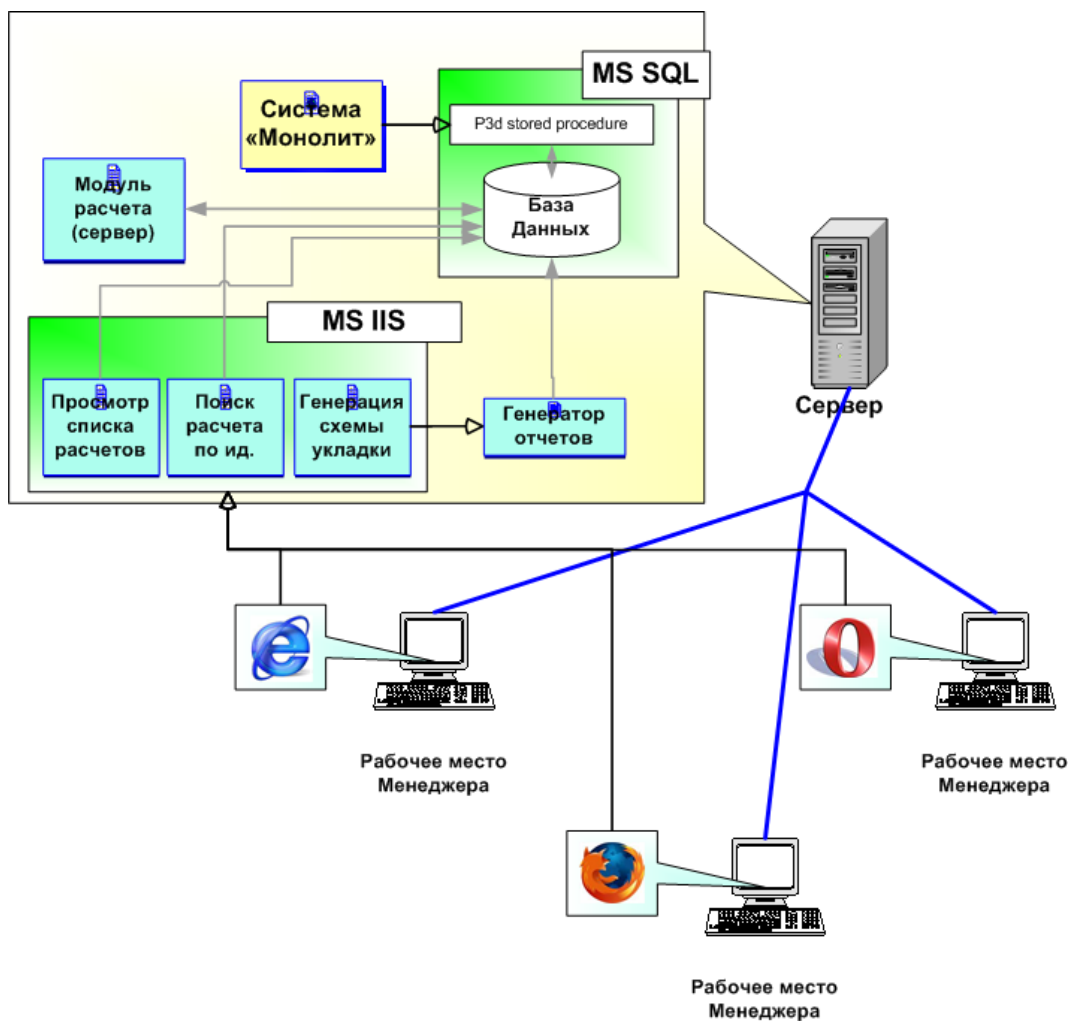


Рис. 5: Архитектура внедрения в «ООО Пивоваренная компания Балтика»

схему укладки. Архитектура внедрения алгоритма **packer3d** в информационной системе ОАО «Пивоваренная компания Балтика» представлена на рисунке 5.

4.4 Внедрение в группе компаний «Русклимат»

В 2008 году разработана специальная модификация программы и проведено её внедрение в информационную систему группы компаний «Русклимат», которая занимается производством и продажей систем кондиционирования, вентиляции и отопления. Архитектура внедрения следующая: алгоритм реализован в виде ActiveX-модуля, работающего под операци-

онной системой Win32 и предоставляющего функции для расчёта оптимальной укладки груза и просмотра схемы укладки. Вызов этих функций осуществляется непосредственно из информационной среды «1с», и в этой же среде отображаются результаты расчёта оптимальной упаковки. ActiveX-модуль реализован таким образом, что позволяет просматривать 3-х мерную схему укладки на специальных портативных компьютерах в отделе погрузки непосредственно в процессе загрузки товара в транспортные средства. Специально для «Русклимата» был реализован ряд дополнительных модификаций алгоритма: загрузка мелких негабаритных товаров в специальной таре, группировка товаров для отправки одним транспортным средством, группировка товаров для обязательной отправки разными транспортными средствами, подбор оптимального транспорта для перевозки груза.

4.5 Внедрение в ОАО «Мебельная компания Шатура»

В 2001 году **первая** версия реализации алгоритма была внедрена в ОАО «Мебельная компания Шатура». В связи с особенностями бизнес-процессов компании, схема укладки предметов не требовалась заказчику, а алгоритм использовался менеджерами компании только для оценки того, удастся ли указанный груз разместить в транспортном средстве или нет. По этой причине интерфейс взаимодействия алгоритма с информационной системой компании минимальный. Архитектура внедрения следующая: алгоритм реализован в виде exe-файла, работающего под операционной системой Win32, не имеющий графического интерфейса пользователя и предоставляющий другим модулям системы доступ к функции расчета по протоколу CORBA. Информационная система компании, реализованная на базе системы Oracle при каждом запросе на укладки груза в грузовик передает список параметров предметов для укладки и параметры грузовика модулю **packer3d** по протоколу CORBA и получает ответ «да» или «нет». Обработка полученного результата проводится менеджером компании «вручную» и по необходимости осуществляется но-

вый расчет для набора предметов к которому были добавлены другие или удалены некоторые существующие.

5 Заключение

В работе описаны особенности программной реализации алгоритма нахождения приближенного решения 3-х мерных задач «о рюкзаке» и «об упаковке в контейнеры», а так же приведены примеры реальных внедрений программной системы на базе этой реализации. Несмотря на то, что описанная программная система не находит наилучшее решения задачи о рюкзаке, её высокая скорость работы и приемлемый результат позволяют при внедрении добиваться существенной экономии затрат на грузоперевозки. Помимо высокой скорости работы основным преимуществом алгоритма является его высокая адаптивность, позволяющая реализовывать модификации алгоритма для учета дополнительных ограничений и легко модернизировать его для нужд конечных пользователей.

Список литературы

- [1] *М. Гэри, Д. Джонсон* Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. М.: Мир, 1982.
- [2] *А.Ахо, Дж.Хопкрофт, Дж.Ульман* Построение и анализ вычислительных алгоритмов. М.:Мир 1979, 536 стр.
- [3] *В.В. Псиола*. О приближенном решении 3-х мерной задачи об упаковке на основе эвристик. Интеллектуальные системы, 11, вып. 1-4, 2007
- [4] *М. Липский* Комбинаторика для программистов. М.: Мир, 1988.