

Горизонтальный участок помехи остается в рассмотрении как КЦМП полностью, если он расположен ниже горизонтали, заданной левой верхней помехой и выше горизонтали правой нижней помехи.

В противном случае от этого участка остается отрезок, конец которого вычисляется по концам отрезков соответствующих помех.

Аналогичная процедура запускается для вертикального участка правой верхней помехи.

Координаты дугообразного участка правой верхней помехи последовательно сравниваются с горизонтальными, с вертикальными и с дугообразными участками двух рассматриваемых помех.

Каждый из оставшихся участков проверяется на пересечение с левыми нижними помехами (аналогично случаю 1).

В итоге в качестве КЦМП остается от 0 до 4 следующих точек:

- верхняя точка вертикального участка, если он остался;
- правая точка горизонтального участка, если он остался;
- концы дугообразного участка или того, что от него осталось – до двух точек.

Из этих точек следует выбрать ближайшую к центру ячейки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лузин С. Ю., Полубасов О. Б. САПР ТороR: трассировка печатных плат с BGA-компонентами // Современная электроника. 2008. № 7. С. 44–48.

2. Кристофидес Н. Теория графов. М.: Мир, 1978.

A. V. Bessonov, K. A. Knop, Yu. T. Lyachek
Saint-Petersburg state electro technical university «LETI»

PLACING VIAS IN THE FIELD BGA COMPONENT

The technique destination through vias in BGA-components when in the same area, but on the other side of the PCB, "the blocking" of the two contact devices. Method takes into account the actual size of the holes and minimizes the length of section of wire from the contacts to the corresponding transitions, and used in CAD "ТороR".

Tracing, PCB, BGA-component, the combination of pairs

УДК 004.9

Г. Д. Дик

Балтийская экспедиторская компания

А. Б. Дегтярев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Выбор ИТ-сервисов информационной системы с целью повышения эффективности функционирования транспортной логистической системы

Проведен анализ состояния современных информационных систем предприятия транспортной логистики с целью повышения эффективности ее функционирования. Предложены методы оптимизации выбора ИТ-сервисов на основе сервис-ориентированной архитектуры.

Транспортная логистическая система, ИТ-сервисы, информационные системы, ИТ-архитектура, многокритериальная задача, эффективность функционирования, СОА

На сегодняшний день транспортная логистика – одна из самых перспективных и быстродействующих областей современного бизнеса, и толь-

ко грамотный подход к обеспечению перевозок поможет игроку этого рынка не отстать безнадежно. Транспортная логистическая система (ТЛС),

являющаяся основой транспортной логистики, организует управление материальным потоком (МП) для перемещения требуемого количества груза (как элементарной единицы МП). К основным задачам, решаемым ТЛС, относятся:

- выбор вида транспорта (автомобильный, морской, железнодорожный и т. п.);
- создание транспортных систем под конкретный проект, например транспортный коридор, транспортная цепь;
- обеспечение технологического единства транспортно-складского процесса;
- информационное обеспечение соответствующего материального потока;
- совместное планирование транспортного процесса со складским и производственным;
- определение рационального маршрута доставки груза и др.

Все эти задачи должны решаться взаимосвязанно, в комплексе. И тогда результатом использования ТЛС для предприятия будет высокая вероятность выполнения «шести правил логистики» – нужный груз, в нужном месте, в нужное время, в необходимом количестве, необходимого качества, с минимальными затратами [1].

Повышение эффективности ТЛС заключается в повышении эффективности управления перемещением груза в МП, что в свою очередь в значительной степени зависит от состава, структуры и порядка использования информационных систем (ИС), функционирующих в транспортной логистике. Анализ ИС, используемых в ТЛС, позволил выявить основные узкие места в их построении и применении:

1. Наличие неоднородности программно-технической базы.
2. Отсутствие единого открытого информационного пространства и единых баз данных.
3. Разнообразие стандартов информационного взаимодействия, неоднородность форматов и технологий обработки информации.
4. Отсутствие регламентов информационного взаимодействия различных информационных систем.
5. Отсутствие систем подготовки и принятия решений, экспертных систем, систем моделирования процессов, информационно-поисковых и других систем.
6. Отсутствие непрерывности оперативного управления информационным потоком в узловых точках прохождения грузов.
7. Отсутствие безопасности циркулирующей информации и т. п.

Данное обстоятельство, в свою очередь, наталкивает на необходимость поиска других вариантов создания ИТ-инфраструктуры предприятий транспортной логистики. Тогда для решения перечисленных проблемных вопросов предлагается осуществить трансформацию всей ИТ-архитектуры ТЛС в ИТ-инфраструктуру (ИТИ) на базе сервис-ориентированной архитектуры (COA), используя возможность комплексной интеграции как на уровне приложений-сервисов, так и на уровне доступа к ним [2].

Архитектура, ориентированная на сервисы, имеет следующие характерные признаки:

1. Архитектура является распределенной. Функциональные модули могут быть распределены по множеству вычислительных систем и способны к взаимодействию с использованием локальных или глобальных сетей.
2. Интерфейс функциональных модулей таков, что их использование не зависит от технологии или платформы, в рамках которой они реализованы.
3. Возможны динамический поиск и подключение нужных функциональных модулей.
4. Архитектура базируется на общепринятых отраслевых стандартах.
5. Слабая связность компонентов.

Проявление этих признаков в ИС ТЛС свойственно структуре информационного потока ТЛС. Основанием для данного предположения является прежде всего то, что центры обработки логистической информации (ЦОЛИ) имеют не только территориально-распределенное размещение, но и находятся в различных государственных и коммерческих структурах (1-й признак COA). Например, Заказчик – в одной стране мира, Поставщик и Экспедитор – в другой, а маршрут доставки груза пролегает через третьи страны и т. п. В бухгалтерском отделе Заказчика на автоматизированные рабочие места (АРМ) установлена система «1С», а в бухгалтерском отделе Поставщика – «Microsoft Navision» и т. п. В конечном итоге, различия есть во многом, но при этом вся информация доступна к совместному использованию посредством объединения в локальные, а затем и в глобальные сети.

Однако данное объединение влечет за собой необходимость формирования такого интерфейса функциональных модулей, чтобы их использование не зависело от технологии и платформы реализации (2-й признак COA).

В процессе доставки груза на маршруте следования возможны любые неожиданные изменения и прецеденты, связанные с непредвиденными обстоятельствами по пути следования. В этом случае необходим оперативный динамический поиск и подключение функциональных модулей ЦОЛИ различных ведомств и организаций, участвующих в процессе обеспечения доставки груза (3-й признак COA).

С точки зрения стандартизации, унификации, удобства использования, а также возможной модернизации и последующей наращиваемости построение подсистемы приложений должно базироваться на общепринятых отраслевых стандартах (4-й признак COA).

И наконец, используемые в ТЛС информационные системы независимы друг от друга: они выполняют определенные действия по запросам, которые получают друг от друга, и возвращают результаты. Все детали этого выполнения полностью скрыты, т. е. это «черные ящики» (5-й признак COA). Слабая связанность обеспечивает простую и быструю адаптацию системы к изменениям в структуре и принципах реализации сервисов.

Процесс сервис-ориентированного построения архитектуры состоит из трех основных шагов: идентификации, спецификации и реализации

сервисов, компонентов и потоков (обычно посредством объединения сервисов) (рис. 1).

Предлагаемую к использованию COA рекомендуется сформировать из набора бизнес-ориентированных IT-сервисов (ITS, далее по тексту – сервис), которые коллективно удовлетворяют задачам и бизнес-процессам предприятия в транспортной логистике. Такие сервисы можно группировать в композитные приложения и вызывать их через стандартные протоколы. На этапе реализации сервиса следует определиться в вопросе выбора программного обеспечения (ПО), реализующего данный сервис, – приобретение каким-либо способом у поставщика сервисов или создание на заказ. Другие доступные альтернативы включают в себя интеграцию, преобразование, подписку и привлечение внешних ресурсов функциональных частей с использованием сервисов. Здесь принимается решение, какой модуль унаследованной системы будет использоваться для реализации данного сервиса, а какой будет построен заново, «с нуля». Кроме того, существуют решения реализации для других сервисов, не включающих бизнес-функциональность, а именно – обеспечение безопасности, управление и контроль сервисов и т. п.

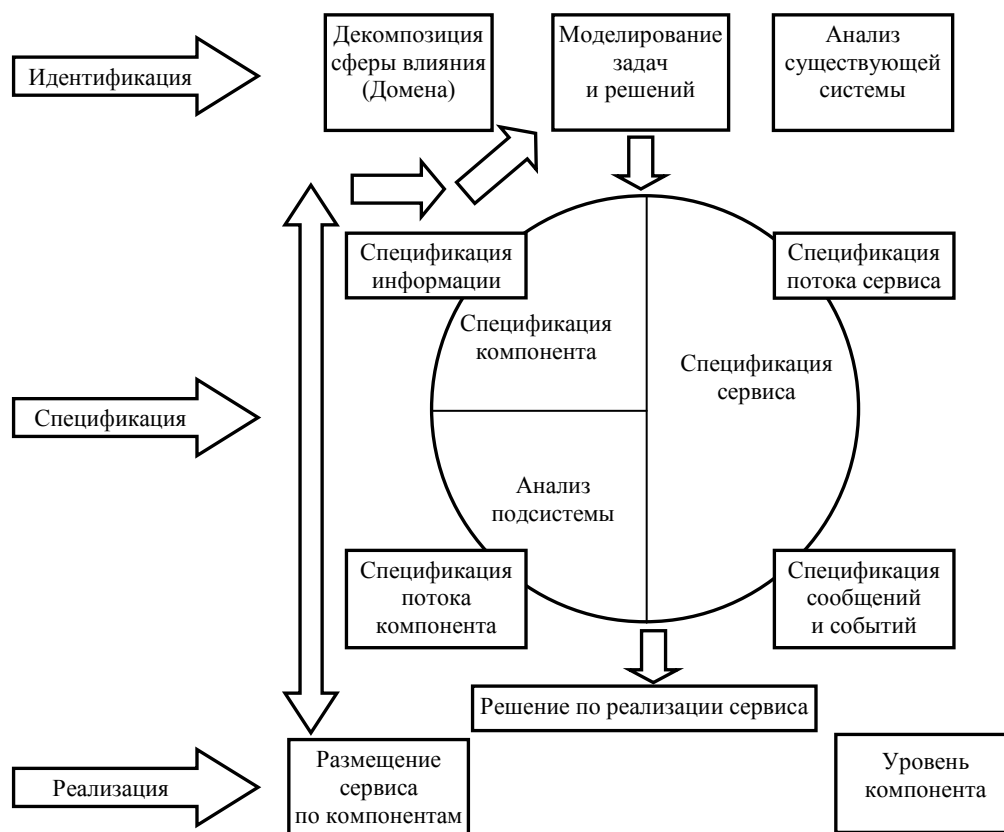


Рис. 1

В ходе проведения исследования ИТ-инфраструктуры ТЛС было установлено, что одну и ту же функцию порой предоставляют не только различные сервисы, но и разные поставщики с отличающейся стоимостью на предоставление доступа к сервисам, скоростью предоставления услуги, доступностью сервиса и т. п. В качестве одного из примеров можно рассмотреть задачу мониторинга местоположения и состояния доставляемого груза (слежение за грузом). В зависимости от используемого ПО у поставщика, перевозчика или других участников перевозки картографические услуги представляют сервисы (в виде web-сервисов) «Bing Maps», «Рамблер-Карты», «Google Maps», «Nokia Maps», «Яндекс-Карты» и другие самостоятельно созданные или заказные разработки. Для определения местонахождения груза используются сервисы систем «ГЛОНАСС», «GPS», «A-GPS» и т. п. По возможности и необходимости для страховых компаний и охранных предприятий информация видеохостинга может быть представлена стандартными сервисами специализированного ПО «VideoNet», «Интеллект», «Микроскоп» и т. п. И здесь со стороны клиента достаточно наличия доступа в Интернет и ПО, умеющего обращаться к этим сервисам. Достаточно упомянуть такие программы, как Microsoft Office, 1С:Предприятие 8, LotusNotes/Domino, OpenOffice, среды разработки Microsoft VisualStudio, Eclipse, NetBeans, SunStudio, BorlandDelphi, JBuilder и многие др. При этом нет ограничений и по использованию платформы, на которой будет работать клиент. Это может быть как Windows, так и Mac OS X, Linux, FreeBSD, Unix или, например, Solaris. Возможно даже обращение к такому сервису с мобильных устройств, например большинства сотовых телефонов, планшетов, нетбуков и т. п.

К наиболее популярным и часто встречающимся в транспортной логистике сервисам следует отнести реализации:

1. Сервисных функций общего назначения (проверка возможностей по доступу пользователя, получение списка географических наименований, получение списка доступных печатных форм, получение списка доступных отчетов и т. п.).

2. Функций клиентского доступа к логистической системе (оформление заказа на доставку грузов, редактирование оформленных заказов, предварительный расчет стоимости перевозки грузов и т. п.).

3. Функций агентского доступа к логистической системе (регистрация подтверждения о до-

ставке, регистрация информации мониторинга, получение информации о консолидированном грузе для агента и т. п.).

Помимо своего функционального предназначения, заданного с помощью функциональных параметров (обычно в техническом задании на создание), сервисы характеризуются также различными технологическими параметрами, которые в свою очередь определяют производительность, надежность, стоимость, безопасность, доступность и т. п.

Также при использовании сервисов следует учитывать требования, которые заявлены в QoS (Quality of Service) как требования к качеству предоставляемых услуг и в документе SLA (Service Level Agreement) как соглашение об уровне оказываемых услуг.

Рассмотренные в исследованиях различных авторов* варианты моделирования сервисов, web-сервисов или их различных комбинаций в основном проводились с целью оценки статических характеристик в отдельности. В благоприятных условиях функционирования каждый отдельный сервис при единичных запросах может иметь хорошие показатели производительности, надежности, стоимости и т. п. Однако в условиях повышения нагрузки на обработку и вычисление, необходимости решения поставленных задач в реальном масштабе времени, наличия роста объема данных, существования вероятности появления повторяющихся и взаимодополняющих сервисов возникает необходимость функционирования ИС ТЛС по некой выборке сервисов в соответствии с заданными критериями. Тогда процесс определения необходимой выборки сервисов следует рассмотреть как решение многокритериальной задачи формирования композиции сервисов по следующим показателям:

1. Значимость сервиса, который при определенных обстоятельствах отражает показатель его полезности.

2. Доступность сервиса.

3. Достоверность сервиса.

* Ламб Берт. Расширяемость сервисов на основе сервисно-компонентной архитектуры // IBM DeveloperWorks. 2008. URL: <http://www.ibm.com/developerworks/ru/library/ws-soa-scafutureproof/index.html>.

Reference Model for Service Oriented Architecture. – The Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS), 2006. URL: <http://www.oasis-open.org/committees/download.php/19679/soa-rm-cs.pdf>.

SOA Reference Architecture. The Open Group, 2011. P. 192. URL: <https://www2.opengroup.org/ogsys/catalog/C119>.

4. Стоимость сервиса.
5. Надежность сервиса.
6. Время (скорость) предоставления сервиса.
7. Безопасность сервиса и т. п.

Известно, что методы решения многокритериальных задач подразделяются на две группы [3]. При использовании методов первой группы стремятся сократить число показателей качества на исходном множестве альтернатив (метод главного показателя, метод обобщенного показателя (метод свертки), метод максимина, метод пороговых показателей, метод последовательных уступок, метод расстояний). Методы второй группы основаны на стремлении сократить число альтернатив в исходном множестве, исключая заведомо плохие альтернативы. Однако решение многокритериальных задач формирования композиции сервисов еще более усложняется тем, что ИС ТЛС взаимодействует с так называемой внешней средой. В этом случае решение зависит от неконтролируемых параметров, определяемых состоянием внешней среды. Для логистических систем это может быть влияние погодных условий и природных катаклизмов на маршруте, геополитических и региональных осложнений в местностях прохождения маршрута, изменение условий: сроков поставки, хранения, оформления и т. п., что в свою очередь может существенным образом повлиять как на функциональные, так и технологические показатели сервисов.

Кроме того, множество вариантов (множество Парето) может быть достаточно большим для того, чтобы руководитель или другое ответственное лицо предприятия, решающее задачу выбора конечной композиции, могли бы сделать однозначный выбор. В связи с этим предлагается при формировании композиции сервисов добавить этап человекомашинной процедуры уточнения предпочтений, который одновременно давал бы достаточно гибкость в изменении параметров предпочтений и отображал понятную информацию о причинах и последствиях установления тех или иных предпочтений.

В данной ситуации целесообразно применить одну из двух стратегий выбора.

Первая стратегия, основанная на принципе наихудшей реакции внешней среды (метод гарантированного результата), применяется тогда, когда среда ведет себя непредсказуемо или враждебно. В этом случае определить наиболее предпочтительное решение не представляется возможным, так как неизвестен прогноз поведения среды. Тогда можно определить так называемое

гарантированное решение, которое справедливо при любом состоянии среды (по принципу «хуже быть не может»). Обозначим x – некий объект или элемент исследования, y – неконтролируемый параметр, характеризующий состояние внешней среды (он может быть и векторным), $y \in G_y$, где G_y – некоторое множество, например интервал значений. Тогда частные показатели F_i и обобщенный показатель F , получаемый сверткой частных показателей, будут зависеть от параметра y , т. е. $F_i = F_i(x; y)$, $F = F(x; y)$. Принцип наихудшей реакции среды распространяет схему выбора по наихудшему показателю (максиминную свертку) на случай влияния окружающей среды. Альтернатива выбирается из условия

$$x^* = \arg \max_{x \in X} \min_{y \in G_y} F(x; y).$$

Такое решение называется гарантированным результатом, так как при любом значении параметра y гарантируется получение показателя не меньше, чем $\min_{y \in G_y} F(x; y)$. Надежность такого ре-

шения равна единице, т. е. лицо, принимающее решение (ЛПР), не рискует ошибиться, принимая его. Полученный результат может быть улучшен, если исходная информация позволяет сделать некое предположение о значении параметра y (состоянии среды), что связано с определенным риском, так как предположение может и не оправдаться.

Вторая стратегия основана на принципе равновесия (принцип Нэша). Часто действия окружающей среды являются целенаправленными, например для систем, включающих субъектов, причем каждая из систем стремится достичь своей цели. Принцип Нэша позволяет сузить множество альтернатив при приеме коллективного решения всеми взаимодействующими субъектами по договоренности. При этом каждый поступает частью своих интересов. Именно такие решения принимаются в логистике при формировании цепей поставок и управлении ими. Определим равновесное решение как такое, которое принимается всеми субъектами одновременно, по договоренности. Пусть имеется N субъектов, каждый из которых может выбирать свое решение (свою стратегию) $x^{(l)} \in X^{(l)}$ так, чтобы максимизировать свой показатель $F^{(l)}$. Значение показателя при этом зависит от выбора других субъектов, т. е. $F^{(l)} = F^{(l)}(x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(l)}, \dots, x^{(N)})$.

Решение $x_0 = \{x_0^{(1)}, \dots, x_0^{(l)}, \dots, x_0^{(N)}\}$ называется равновесным, если для любого l выполняется условие

$$F^{(l)}(x_0) = \max_{x^{(l)}} F^{(l)}(x_0^{(1)}, x_0^{(2)}, \dots, x_0^{(l)}, \dots, x_0^{(N)}).$$

Равновесное решение можно назвать устойчивым, так как если субъект l отступит от своего равновесного решения, т. е. выберет стратегию $x^{(l)} \neq x_0^{(l)}$, то при условии, что остальные субъекты сохраняют свой выбор, он проиграет. Принцип Нэша как раз и состоит в том, что наилучшие решения принадлежат множеству равновесных решений. Однако следует иметь в виду, что равновесные решения в общем случае не являются эффективными, и наоборот. Например, если решение принимается всеми субъектами независимо, то их выбор вряд ли будет устойчивым. Кроме того, и при одновременном решении часть субъектов может выбрать иное решение (например, эффективное), что даст им преимущества перед остальными. Таким образом, метод равновесия эффективен при сужении множества альтернатив в закрытых системах, когда равновесные решения одновременно принадлежат множеству Парето. Это бывает весьма редко, так как большинство систем являются открытыми, и для них эффективные альтернативы неустойчивы, а устойчивые – неэффективны.

В большинстве практических приложений задачи формирования оптимальной композиции сервисов с последующей оценкой качества и эффективности приходится решать в условиях существенной неопределенности.

По источнику неопределенности подразделяются следующим образом:

- 1) неопределенность в достижении планируемых характеристик вариантов проектируемой системы (параметрическая неопределенность);
- 2) неопределенность внешних условий (состояния среды).

Неопределенность первого типа обусловлена неизбежными отличиями воплощенной в реальности системы от своего проекта. Она влияет в первую очередь на значения показателей качества системы, которые могут существенно отличаться от запланированных.

Неопределенность состояния внешней среды – естественное свойство реальности. Оно, прежде всего, приводит к неопределенности

оценки эффективности применения системы. Такая неопределенность может возрастать в ситуациях, когда разрабатываемую систему используют не по первоначальному назначению. Например, в результате незапланированного увеличения стоимости сервисов от выбранного поставщика возникает необходимость использования других сервисов или альтернативного поставщика. Тогда показатели стоимости такой системы могут существенно отличаться от расчетных значений.

Возникновение неопределенностей обоих типов приводит к тому, что значения частных показателей качества и эффективности $F = (F_1, F_2, \dots, F_m)$ теряют свойства точечных оценок. Вместо этого каждая величина $F_i = F(x_j)$, $i = 1..m$, $j = 1..n$ характеризуется интервалом значений $[F_{in}, F_{ib}]$, называемым интервальной оценкой. Здесь F_{in} – нижнее значение показателя F_i , F_{ib} – соответственно верхнее его значение. Каждому точечному значению из указанного интервала ставится в соответствие вероятность его возникновения, характеризующая степень неопределенности оценки. Если сведения о вероятности возникновения значений точечных оценок из интервала $[F_{in}, F_{ib}]$ отсутствуют, принимается предположение о равномерности распределения вероятности в этом интервале.

Для различных F_i эти интервалы и распределения вероятностей в них могут быть различными. В совокупности интервалы неопределенности для каждого x_j будут многомерными. Соответственно, распределения вероятностей значений в этих интервалах также будут многомерны. Возможны также ситуации, когда одни показатели сохраняют свойства точечных оценок (не будут подвержены воздействию неопределенности), а другие – нет. На рис. 2, а и б приведены примеры одномерных интервальных оценок показателей F_1 и F_2 соответственно, на рис. 2, в – пример двумерной интервальной оценки, когда область возможных пар значений показателей F_1 и F_2 описывается геометрическими фигурами (в примере – прямоугольниками).

Очевидно, что возникновение интервальных оценок делает затруднительным применение методов отыскания компромиссов и схем векторной оптимизации. Более того, возникновение неопределенности в расчете численных значений показателей осложняет также определение Парето-оптимальных множеств. Как видно из рис. 2, в,

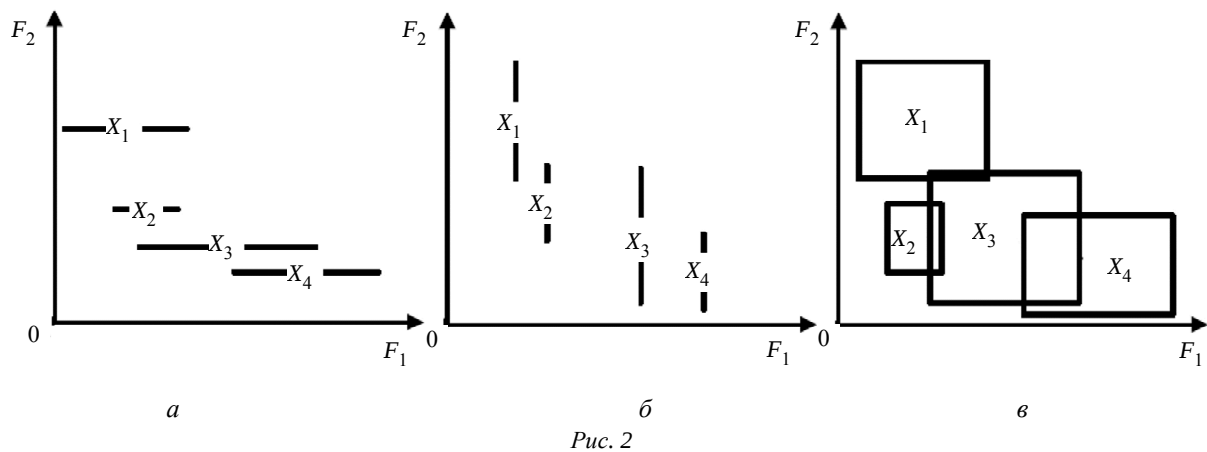


Рис. 2

отдельные секторы областей возможных значений показателей не являются Парето-оптимальными, и, следовательно, тот или иной вариант x_j может быть отнесен к множеству Парето лишь с некоторой вероятностью, пропорциональной вероятности реализации именно Парето-оптимальных значений его показателей. Основной способ, позволяющий преодолеть влияние неопределенности и применять ранее рассмотренные схемы решения, – замена интервальных оценок точечными, в той или иной мере отражающими как стратегию ЛПР, так и параметры исходной интервальной оценки.

Однако при формировании рациональной композиции сервисов возникают следующие дополнительные трудности:

1. Отсутствие единой и всеми принятой методики разработки и реализации ИТ-стратегии на предприятиях транспортной логистики.

2. Наличие на ИТ-рынке большого количества альтернативных ИТ-решений, реализующих схо-

жую функциональность для автоматизации бизнес-процессов предприятия.

3. Необходимость учета множества факторов при оценке качества ИТ-сервисов и совокупных затрат, связанных с их приобретением и эксплуатацией, и т. п.

Эти факторы формируют элементы неопределенности, что, в свою очередь, вызывает необходимость использования математического аппарата нечетких множеств [4]. И тогда процесс формирования рациональной композиции ИТ-сервисов в инфраструктуре ТЛС можно представить в виде решения многокритериальной задачи в условиях нечетких множеств [5].

Таким образом, можно предположить, что применение описанного подхода позволит модернизировать ИТ-инфраструктуру информационных систем в транспортной логистике с использованием СОА для повышения эффективности управления ТЛС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неруш Ю. М. Логистика: учеб. 4-е изд. М.: Проспект, 2008.
2. Пырлина И. В. Выбор эффективного проекта реализации сервис-ориентированной архитектуры информационной системы // Проблемы управления. 2012. № 4. С. 59–68.
3. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения / пер. с англ. М.: Радио и связь, 1992.
4. Гибкое динамическое объединение ресурсов, или сервисно-ориентированный вычислительный грид / А. В. Богданов, А. Б. Дегтярев, В. В. Мареев, Ю. И. Нечаев // Информационное общество. 2012. № 2. С. 61–70.
5. Degtyarev A., Logvinenko Yu. Agent system service for supporting river boats navigation // Procedia Computer Science. 2010. Vol. 1, № 1. P. 2717–2722.

G. D. Dik

Baltic Forwarding Company

A. B. Degtyarev

Saint-Petersburg state electro technical university «LETI»

APPLICATION IT-SERVICES INFORMATION SYSTEM BASED ON SOA TO IMPROVE TRANSPORTATION LOGISTICS EFFICIENCY

The paper shows the ways for improved management of transportation logistics system in real time.

Transportation logistics system, IT-service, information systems, IT architecture, multi-criteria problem, efficiency, SOA

УДК 621.39

В. Л. Литвинов

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

А. В. Гуцин

*Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича*

Применение и реализация конвейерного преобразования Фурье с переменной длиной в параметризуемых OFDM-системах

Обосновывается использование блока конвейерного преобразования Фурье в параметризуемых OFDM-системах. Приводится обзор быстрых алгоритмов для реализации такого блока. Предлагается схема реализации блока конвейерного преобразования Фурье с переменной длиной.

OFDM, дискретное преобразование Фурье, LTE, высокоскоростная передача данных

OFDM является частным случаем мультиплексной передачи данных в канале связи с частотным разделением (Frequency Division Multiplex – FDM). При формировании OFDM-символа поток последовательных информационных символов разбивается на блоки, содержащие M символов. Далее блок последовательных информационных символов преобразуется в блок параллельных символов, в котором каждый информационный символ соответствует определенной поднесущей частоте многочастотного сигнала. При этом длительность символа увеличивается в M раз. Таким образом, суммарная ширина спектра многочастотного сигнала соответствует ширине спектра исходного сигнала с последовательными символами. Целью такого преобразования является защита сигнала от узкополосных помех (либо от частичных искажений спектра в результате

переотражений и многолучевого распространения). Защита достигается благодаря тому, что параллельные символы многочастотного сигнала представляют собой кодовое слово помехоустойчивого кода (например, кода Рида–Соломона), который позволяет восстановить символы в случае их ошибочного приема из-за искажений спектра. Пример OFDM-сигнала изображен на рис. 1. Здесь $b_1, b_2, \dots, b_m$ – медленные потоки данных, полученные разбиением быстрого потока на m частей; T_p – длительность одного символа; W' – ширина спектра одной поднесущей; W – полоса сигнала; F – разнос между поднесущими.

Главным отличием OFDM от FDM (как это следует из названия) является ортогональность каждой поднесущей. В случае FDM для того, чтобы символ после попадания в канал мог быть