

Министерство образования и науки Российской Федерации
Ульяновский государственный университет

УЧЕННЫЕ ЗАПИСКИ
Ульяновского государственного университета

Серия

***ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ***

Выпуск ?(??)

Ульяновск 2005

УДК 51(075.8) + 51(075.8)

ББК 22.1 + 22.2

У91

*Печатается по решению
Ученого совета механико-математического факультета
Ульяновского государственного университета*

У91 Ученые записки Ульяновского государственного университета. Сер. Фундаментальные проблемы математики и механики. Вып. ?(??) / Под ред. академ. РАН, проф. А. С. Андреева. — Ульяновск: УлГУ, 2005. — ??? с.

Содержит статьи преподавателей и аспирантов механико-математического факультета по фундаментальным проблемам математики и механики.

Сборник представляет интерес для научных работников, аспирантов и студентов, занимающихся вопросами математики, механики, математического моделирования, а также вопросами преподавания этих дисциплин в университете.

УДК 51(075.8) + 51(075.8)

ББК 22.1 + 22.2

© Ульяновский государственный университет, 2005

write your preface here...Пишите ваше предисловие здесь... Please write your preface here...Пишите ваше предисловие здесь... Please write your preface here...Пишите ваше предисловие здесь... Please write your preface here...Пишите ваше предисловие здесь... Please write your preface here...Пишите ваше предисловие здесь... Please write your preface here...

Ульяновск,
Июль 2004

А. С. Андреев

МАТЕМАТИКА

Please write your local preface here...

Здесь можно дать краткий обзор включенных статей с указанием, кто рекомендовал каждую статью к опубликованию в данном сборнике.

Можно поместить комментарии к каждой статье или перечень включенных статей (можно с указанием номера страницы, где начинается каждая статья).

Тем самым по каждому разделу сборника будет персональная ответственность локального редактора, в то время как проф. А.С. Андреев осуществляет общее редактирование и комплектование сборника.

В функции локального редактора будут входить:

- подбор рецензентов,
- организация процесса рецензирования и
- окончательное комплектование раздела и написание этого локального предисловия.

Пишите ваше локальное предисловие (к следующему разделу) здесь... Пишите ваше локальное предисловие (к следующему разделу) здесь... Пишите ваше локальное предисловие (к следующему разделу) здесь...

Если не нравится такое оформление этих локальных предисловий, то посмотрите другой вариант оформления, в следующих разделах:

- «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ»
- «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ»
- «КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ»

Ульяновск,
Июль 2004

С. П. Мищенко

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

УДК 519.226.2 : 519.233.2

КОМПОНЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ INTERNET ИНТЕГРИРОВАННАЯ СРЕДА ДЛЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРУПНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Н. Г. Ярушкина*, И. В. Семушин†

* Кафедра Информационных систем
Ульяновский государственный технический университет
ул. Сев. Венец 32, 432027 Ульяновск Россия
e-mail: jng@ulstu.ru

† Кафедра Математической кибернетики и информатики
Ульяновский государственный университет
ул. Л. Толстого 42, 432970 Ульяновск Россия
e-mail: SemushinIV@ulsu.ru

Ключевые слова: экспертиза экономической эффективности, архитектура интегрированной среды, нечеткая система

Аннотация. *Стратегия решения задачи оценки эффективности крупного предприятия часто зависит как от опыта и способностей эксперта, так и от инструментов, вычислительных ресурсов, непосредственно доступных в ходе экспертизы. В большинстве случаев, существуют несколько различных подходов, использующих различные инструменты, наборы данных, формулировки задач экспертизы, которые могли бы быть применены при решении задачи. Эта статья описывает попытку развить гибкую среду экспертизы с помощью интеграции экспертной системы и системы принятия решений на основе методологии мягких вычислений Л. Заде.*

1 Введение

Среди новых задач, которые появились в электронном бизнесе, оценка эффективности предприятия рассматривается как важное средство укрепления позиций бизнеса в современном индустриальном обществе. В последнее десятилетие появились специализированные программные продукты для менеджеров, консультантов и аудиторов бизнеса, такие как базы знаний; экспертные системы; инструменты анализа динамики, основанные на правилах; системы поддержки принятия решений; инструменты оценки стоимости и другие [1, 14, 13, 5, 10, 12, 17].

До сих пор считалось, что совершенствование таких инструментов заключается в достижении большей точности и детальности на каждом уровне оценки. Однако, при экспертизе крупных предприятий сказывается общая сложность процесса. Отдельные локальные улучшения в отдельных инструментах анализа не означают увеличения производительности и эффективности бизнеса, так что противоречия встречаются фактически на каждом этапе анализа. Причина заключается в том, что различные инструменты основаны на различных принципах. Более того, они используют различные типы данных: четкие и нечеткие, качественные и количественные. Многообразие инструментов, гетерогенность данных и многотипность подходов являются препятствиями на пути широкого распространения электронного бизнеса. Таким образом, проявляет себя широко известный принцип Л. Заде. Согласно этому принципу, точность и смысл вступают в конфликт, начиная с некоторого момента анализа сложного объекта [21].

Проблема становится еще более сложной, если процесс экспертизы включает в себя взаимодействие различных географически распределенных партнеров. Наблюдаются ошибки координации и усложняется передача и преобразование данных между различными инструментами.

Для устранения этих затруднений в электронном бизнесе всех менеджеров, аудиторов, оценщиков эффективности, консультантов-экспертов необходимо обеспечить программным инструментарием, который было бы легко использовать, — надежным и способным успешно взаимодействовать с другими инструментами в процессе экспертизы. Таким образом, решение проблемы — это не создание лучшего инструмента, а интеграция различных подходов, инструментов и технологий в некоторой специализированной INTERNET-среде.

Теоретические основы для такого решения были подготовлены многими работами в теории нечетких множеств и систем [7, 8], а также исследованиями в области принятия решений [11] и аналитического планирования [15]. Более того, текущие технологические достижения делают возможными распределенные вычисления и обеспечивают унифицированный способ публикации сервисов в таких новых INTERNET-средах, как например, FIPER [16].

Учитывая необходимость в такой среде, Ульяновский государственный технический университет, Ульяновский государственный университет при взаимодействии с

Российской ассоциацией искусственного интеллекта и группой предприятий Поволжского федерального округа разрабатывают проект Компонентно-ориентированной интегрированной среды (Component-based Integration Environment (COMBINE)). Проект поддержан Администрацией города Ульяновска и частично Российским Фондом Фундаментальных Исследований. К настоящему моменту времени проект развивается третий год. Результаты исследований позволяют поставить следующую цель: разработать эффективную реализацию проекта Компонентно-ориентированной интегрированной среды (COMBINE) для экспертизы эффективности сложных предприятий (for Performance Assessment of a Complex Enterprise (PACE), COMBINE-for-PACE). Техническая постановка такой задачи стала возможной, так как к настоящему моменту времени ясно поняты проблемы и основные препятствия [18, 19, 20, 22, 23, 24, 25].

Последующие части статьи представляют собой описание такой среды, включая цели, методологию и технологию реализации.

2 Цели исследования

Объясняя особенности проекта COMBINE-for-PACE, начнем с перечня проблем оценки эффективности.

Когда несколько предприятий объединились в партнерство, каждый партнер, желая иметь успешный бизнес (или быть успешным в общем бизнесе) должен знать ясные ответы на следующие вопросы:

- Насколько эффективна деятельность?
- Насколько эффективна деятельность конкретного участника?
- Какие управленческие или финансовые действия приведут к увеличению дохода?
- Кому будут доступны данные, предоставленные в COMBINE? Как убедиться в достоверности ответов, полученных на вышеперечисленные вопросы?

Получение ответов на первый и второй вопросы означает, что каждый партнер должен иметь возможность для самооценки и для перекрестной оценки других партнеров. Инструментарий COMBINE должен принимать в расчет все доступные данные партнеров, — прежде всего, управленческие и финансовые действия. Ответ на третий вопрос предполагает, что инструментарий выдает конструктивные рекомендации партнерам, обратившимся к нему. Наконец, решение четвертой задачи должно полностью исключить неавторизованный доступ к данным, используемым в интегрированной среде COMBINE.

Данный проект разрабатывает интерактивную Internet консалтинговую систему, предназначенную для:

(1) менеджеров верхнего уровня, чтобы:

- (a) получать интегрированные экспресс-оценки управленческих и финансовых действий,
- (b) сравнивать индексы эффективности своих предприятий со средним уровнем таких индексов множества всех партнеров или подобных предприятий;

систему, позволяющую непрерывно улучшать управленческие решения и увеличивать доход компании и предназначенную для:

(2) аудиторских фирм, чтобы:

- (a) получить новый вид сервиса, который они могут продавать,
- (b) привлекать новых клиентов, которые могут пожелать делать заказы на полный набор услуг аудита и консалтинга после получения экспресс-оценок от COMBINE,
- (c) накапливать знания о состоянии бизнесов, сосредоточенных в определенном сегменте рынка,
- (d) формализовать накопленный опыт на этой основе, аккумулировать свои собственные технологии и процедуры для улучшения анализа и оценки эффективности;

систему, позволяющую расширить сеть клиентов и предназначенную для:

(3) любых индивидуальных экспертов-консультантов, чтобы:

- (a) автоматически собирать информацию о сегменте рынка или бизнесе определенного типа,
- (b) выражать свой опыт в консультировании бизнеса в форме базы знаний, основанной на правилах,
- (c) разрабатывать новые компоненты и публиковать их в COMBINE-библиотеке (тем самым расширяя ее возможности),
- (d) увеличить уровень мастерства и свою значимость в профессиональном сообществе консалтинга.

3 Методология

Главные методы, использованные в этой статье и в проекте COMBINE, следующие:

1. Метод анализа иерархий Саати [15].
2. Объектно-ориентированное проектирование и программирование [4].

3. Генетическое программирование и генетические алгоритмы [2, 3].

Среда COMBINE — это компонентно-ориентированная система, базовые компоненты которой (в контексте данного исследования) следующие:

1. Мягкая экспертная система (МЭС), включающая
 - (а) Нечеткую нейронную сеть (ННС),
 - (б) Нечеткий реляционный сервер данных (НРСД),
 - (с) Нечеткую систему логического вывода (НСЛВ),
 - (d) Генетический алгоритм (ГА) для настройки параметров НСЛВ и ННС.
2. Процессор анализа иерархий (ПАИ).
3. Система принятия решений (СПР).

Одна из фундаментальных особенностей системы заключается в том, что любой опытный эксперт-консультант или аудиторская фирма могут разрабатывать, публиковать (встраивать) собственную компоненту в библиотеку компонент. Все компоненты рассматриваются как “обернутые” инструменты (wrapped tools), включаемые в библиотеку исключительно через ее входы и выходы (параметры формальных процедур). Таким образом, COMBINE — это расширяемая система, способная к самоорганизации. Ее основанная на компонентах природа адаптирована к такой ситуации, в которой множество независимых компонент используется различными способами в процедурах экспертной диагностики.

Процедура экспертной диагностики реализуется посредством МЭС, которая образует интеллектуальное ядро системы, в то время как остальные части представляют собой сервер данных и WWW-сервер. Это вызвано тем, что обычно исходные данные, доступные экспертам, представляют собой четкие, точные временные ряды. Эта входная информация преобразуется экспертом в нечеткие (качественные) заключения, прогнозы и рекомендации. Анализ реальных экспертных заключений показывает, что свыше 80 % из них это качественные оценки трендов данных, и только около 20 % составляют рекомендации. Следовательно, рабочая последовательность экспертной диагностики может быть определена как мягкая экспертная диагностическая процедура, приведенная в Таблице 1.

Определение. Мягкая экспертная система - это нечеткая экспертная система, обладающая следующими особенностями:

1. Для извлечения знаний, МЭС использует статистические данные, интерпретируя их как обучающие примеры.

Таблица 1. Мягкая экспертная диагностическая процедура. Проблемы и подходы

Шаг #	Имя шага	Решаемая проблема и главный вопрос шага	Математический подход
1	Преобразование из четких временных рядов (ВР) в нечеткие временные ряды (НВР)	Фаззификация: Какие значения должны быть назначены на переменные, выбранные для описания состояния объекта?	Теория нечетких интервалов [7]
2	Оценка динамики состояния объекта	Анализ НВР и синтез общей оценки НВР: Каковы лучшие оценки для переменной состояния объекта?	Алгебра нечетких интервалов [8]. Теория нейронных сетей [18]
3	Обобщение оценок и фактов	Формирование экспертного резюме: Каким общим термином можно охарактеризовать объект как целое?	Система нечеткого вывода [21]. Система принятия решений [16]
4	Прогнозирование тенденции событий	Прогнозирование: Каков прогноз развития?	Нейронные сети [9]
5	Рекомендации	Формирование заключения: Какие рекомендации можно предложить для достижения целевого состояния?	Система принятия решений [15]

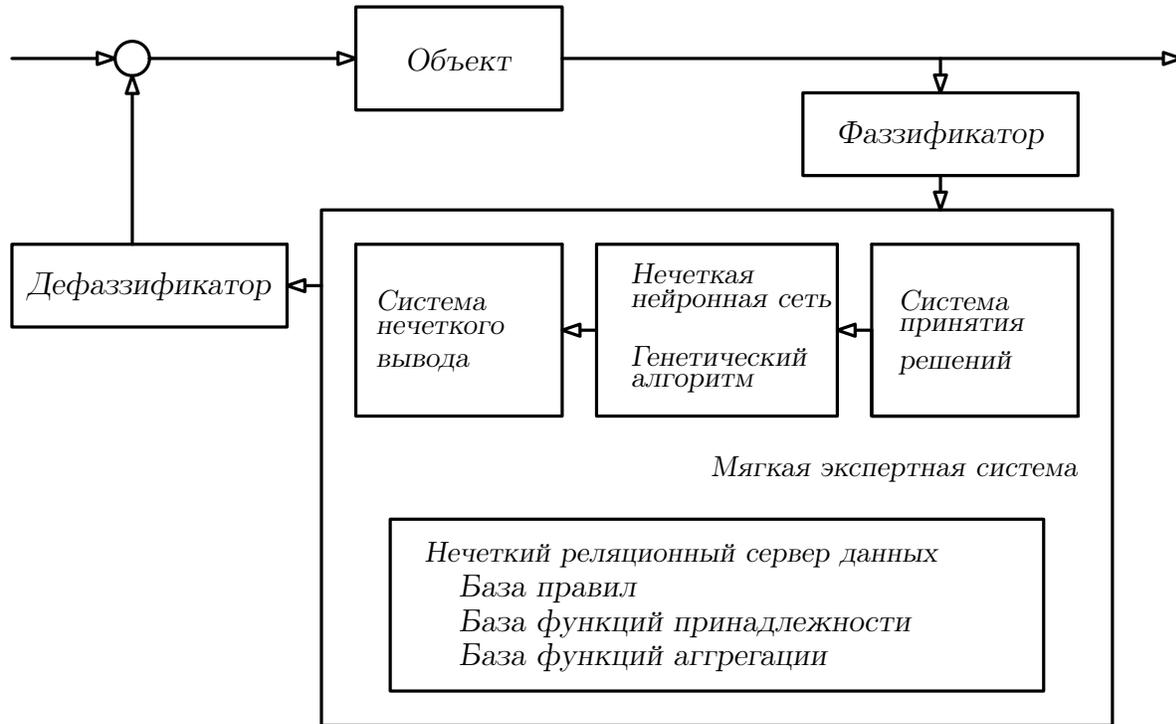


Рис. 1: Интеграция компонент в COMBINE.

2. МЭС представляет знания в форме лингвистических переменных (или функций принадлежности, ФП), нечетких продукций и обучаемых нейронных сетей. Редукция множества нечетких продукций, настройка ФП и базы правил выполняется Генетическим алгоритмом (ГА).

3. МЭС функционирует как система взаимодействующих компонент.

Охарактеризуем главные компоненты разработанной версии COMBINE и методологию, использованную при их разработке (Рис. 1).

3.1 Нечеткая нейронная сеть (ННС)

Нечеткие временные ряды генерируются как ряды лингвистических терминов Фаззификатора (Рис. 1) таких как: “отлично”, “хорошо”, “нормально”, “плохо” и так далее. ННС сопоставляют НВР и понятие нечеткой тенденции, выражающее тренд потока событий, такое как: “рост”, “падение”, “стабилизация”, “колебания” или “хаос”.

3.2 Нечеткий реляционный сервер данных (НРСД)

НРСД разработан как множество триггеров и процедур для сервера данных Oracle 8i, чтобы хранить функции принадлежности, лингвистические оценки, рабочие таб-

лицы, содержащие нечеткие данные, четкие и нечеткие временные ряды, результаты оценивания и оцененные состояния и тенденции. Так как Oracle 8i не имеет средств для хранения нечетких данных, в данном проекте разработан специальный репозиторий для их хранения.

3.3 Нечеткая система логического вывода (НСЛВ)

НСЛВ реализована как нейронная сеть, способная обучиться прогнозировать поведение НВР и за счет этой способности прогнозировать будущее состояние объекта. МЭС, комбинирующая традиционный механизм вывода по продукциям и обученную нейронную сеть, представляет собой новый класс экспертных систем, отличающийся от *нейронных экспертных систем*.

3.4 Процессор анализа иерархий (ПАИ)

Процессор анализа иерархий выполняет многокритериальный выбор решения (Рис. 2) использующий критерии C_{ij} , операторы агрегации Q_i , функции принадлежности $\mu(\cdot)$, сравнительные матрицы критериев и переменные x_i представляющие реальные свойства, такие как цены, размеры и так далее. Кроме этого, ПАИ вычисляет индекс согласованности, отношения согласованности, локальные и глобальные векторы приоритетов, позволяющие эксперту достичь определенного заключения [15].

Как можно видеть из Рис. 2, иерархия рассматривается как полное дерево в котором каждый элемент действует на все элементы следующего уровня.

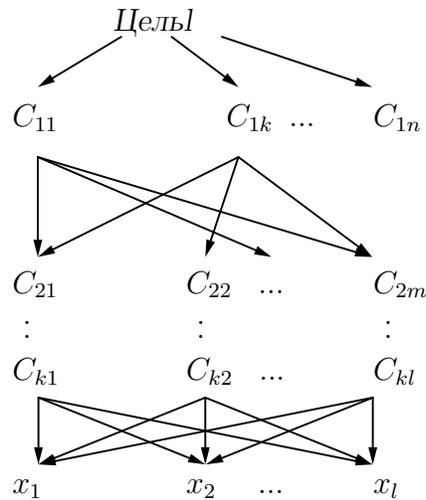


Рис. 2: Иерархия для принятия решений.

4 Описание технологии

Определяя COMBINE как консалтинговый Internet-сервис, предназначенный для оценки эффективности крупного предприятия, имеем ввиду, что конечному пользователю представляются следующие технологические инструменты:

1. IP-сеть, поддерживающая базовое множество Web-сервисов для передачи данных с унифицированной адресацией, протоколом роутинга, DNS.
2. Web-сервер, обеспечивающий доступность гипертекстовых документов через IP-сеть в ответ на запрос Web-клиента.
3. Нечеткий реляционный сервер данных, обеспечивающий хранение и поиск в базах данных большого объема.
4. Интеллектуальная компонента, названная Мягкой Экспертной системой.

Итак, система COMBINE основана на клиент-серверной технологии и реализована как комбинация НРСД (Oracle) и Web-сервера. Главная ее функция – экспертиза предприятия – была в ходе исследования построена как прототип на основе пакета расширения Fuzzy toolbox MATLAB. Используются данные от SQL-сервера, формируется оценка и передается на Web-сервер. Web-сервер передает этот результат (как HTML-документ) и возвращает его Web-клиенту, который затребовал проведение экспертизы.

5 Визуализация результата

В экспертных системах, традиционно используемых для экономического анализа, визуализация результатов реализуется такими средствами, как словесные экспертные заключения, столбиковые диаграммы, гистограммы, круговые диаграммы, трехмерные диаграммы. Эти традиционные средства представления результатов требуют много времени для понимания информации руководителем предприятия или экспертом-экономистом. По этой причине, представляется обоснованным решение использовать лица Чернова в качестве интегральной оценки, выраженной в графической форме [6].

Объект (оцениваемое предприятие) обычно имеет большую размерность, то есть его экономическое состояние определяется большим количеством первичных экономических показателей, отраженных в бухгалтерских регистрах. В настоящее время, бухгалтерский план счетов включает в себя около 90 типов счетов. Исключая из рассмотрения счета регулирующего и контролирующего типов, можно рассматривать от 10 до 20 базовых показателей для предприятий различной формы собственности и вида деятельности. Конструктивные элементы лиц Чернова разрабатываются с использованием образов, предложенных ранее и адаптированных для отображения экономического состояния предприятия.

6 Результаты

В существующей версии системы разработаны следующие функции:

1. Визуализация диаграмм аналитических показателей.
2. Онлайн-формирование функций принадлежности для количественной оценки экономических данных (база знаний функций принадлежности и их шкал).
3. Онлайн-формирование базы знаний лингвистических терминов.
4. Генерация лингвистических оценок базовых показателей с использованием функций принадлежности.
5. Оценивание лингвистических значений аналитических показателей на основе алгебры нечетких интервалов.
6. Генерация лингвистического описания трендов диаграмм и их анализ.
7. Формирование интегральной оценки состояния предприятия.
8. Логический вывод экспертного заключения.
9. Прогнозирование значений экономических показателей.

К настоящему времени система COMBINE использована для экспертизы двух корпораций: ГК “Волга-Днепр” и “Номатекс”. В обоих случаях результаты анализа и рекомендации оказались востребованы, так как позволили сделать бизнес более продуктивным.

7 Преимущества WWW-экспресс-сервиса

Консалтинговый сервис представляет собой очень дорогую услугу. Особенно высокая цена запрашивается за полномасштабную экспертизу. В этой связи, главное преимущество системы COMBINE — это сокращение цены консалтинга. Такое преимущество особенно важно для малых и средних предприятий, которым становится доступным через Internet оперативный анализ и аудит собственного бизнеса.

8 Заключение

Проект COMBINE-for-PACE разрабатывается как расширенная среда выполнения и накопления объектно-ориентированных компонент, предназначенная для решения проблем, описанных во введении к данной статье. Такая среда предоставляет партнерству электронного бизнеса удобный WWW-сервис для оценки деятельности

сложного предприятия, повышающий эффективность и, следовательно, доход предприятия. Хотя среда COMBINE-for-PACE и является сложной интеллектуальной системой, для конечного пользователя она проста в использовании. Полномасштабная реализация среды COMBINE-for-PACE сформирует новый сегмент рынка консалтинговых услуг и послужит новым дополнительным фактором развития электронного бизнеса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Askers, R., I. Bica, E. Kant, C. Randall, and R. Young (2001). Scifinance: A program synthesis tool for financial modeling. *AI Magazine* 22(2), 27–43.
- [2] Beasley, D., D. R. Bull, and R. R. Martin (1993). An overview of genetic algorithms: Part 1: Fundamentals. *University Computing* 15(2), 56–58.
- [3] Beasley, D., D. R. Bull, and R. R. Martin (1993). An overview of genetic algorithms: Part 2, Research Topics. *University Computing* 15(2), 170–181.
- [4] Budd, T. (1997). *An Introduction to Object-Oriented Programming* (Second ed.). Reading: Addison-Wesley.
- [5] Chen, S. and S. Chang (2003). Fuzzy economic production quantity model with quality improvement investment and fuzzy costs. In *Proceedings of the 10th IFSA World Congress*, Turkey, Istanbul, pp. 523–527.
- [6] Chernoff, H. (1973). Using faces to represent points in k -dimensional space graphically. *J. ASA* (1), 68–68. See also: Kabulov, B.T. (1991). A method for constructing Chernoff faces using the interval estimators of parameters. *Technicheskaya Cybernetika, The USSR Academy of Sciences* (3).
- [7] Dubois, D. and H. Prade (1980). *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*. New York: Academic Press.
- [8] Dubois, D. and H. Prade (1984). Criteria aggregation and ranking of alternatives in the framework of fuzzy set theory. In H. J. Zimmermann, L. A. Zadeh, and B. R. Gaones (Eds.), *Fuzzy Sets and Decision Analysis*, TIMS Studies in Management Sciences, pp. 209–240. North-Holland: Elsevier.
- [9] Gorban, A. N. and D. A. Rossiev (1996). *Neural Networks on Personal Computers*. Nauka: Nauka. In Russian.
- [10] Kahraman, C. and Z. Ulukan (1997). Fuzzy cash flows under inflation. In *Proceedings of the 7th IFSA World Congress*, Volume 4, Czech Republic, Prague, pp. 104–109.
- [11] Klir, J. (1985). *Architecture of Systems Problem Solving*. New York: Plenum Press.

- [12] Lakov, D. (1997). Fuzzy neural network structures in credit risk assessment. In *Proceedings of the 7th IFSA World Congress*, Volume 4, Czech Republic, Prague, pp. 109–116.
- [13] Matsatsinis, N., M. Doumpos, and C. Zopounidis (1997). Knowledge acquisition and representation for expert systems in the field of financial analysis. *Expert Systems with Applications* 12(2), 247–263.
- [14] Nolan, J. (1988). An intelligent system for case review and risk assessment in social services. *AI Magazine* 19(1), 39–47.
- [15] Saaty, T. L. and K. P. Kearns (1985). *Analytical Planning. The Organization of Systems*. Oxford: Pergamon Press.
- [16] Sobolewski, M. W. (2002). Federated P2P services in CE environments. In R. Jardim-Gonçalves, R. Roy, and A. Steigler-Garção (Eds.), *Advances in Concurrent Engineering, Proceedings of the 9th International Conference on Concurrent Engineering, Cranfield, United Kingdom, 27–31 July 2002*, Lisse, Netherlands, pp. 13–22. A. A. Balkema. ISBN 90 5809 502 9.
- [17] Wang, C., A. Ramer, and S. Chen (1997). Fuzzy maximizing profit model. In *Proceedings of the 7th IFSA World Congress*, Volume 4, Czech Republic, Prague, pp. 122–126.
- [18] Yarushkina, N. G. (2000). Soft computing and complex system analysis. *International Journal on General Systems* 30(1), 71–88.
- [19] Yarushkina, N. G. (2002). Data flow distribution in concurrent engineering. In R. Jardim-Gonçalves, R. Roy, and A. Steigler-Garção (Eds.), *Advances in Concurrent Engineering, Proceedings of the 9th International Conference on Concurrent Engineering, Cranfield, United Kingdom, 27–31 July 2002*, Lisse, Netherlands, pp. 735–743. A. A. Balkema. ISBN 90 5809 502 9.
- [20] Yarushkina, N. G. (2003). Application of fuzzy relational data server for concurrent engineering. In J. Cha, R. Jardim-Gonçalves, and A. Steigler-Garção (Eds.), *Concurrent Engineering: The Vision for the Future Generation in Research and Applications; Book 2: Advanced Design, Production and Management Systems, Proceedings of the 10th ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications, 26–30 July 2003, Madeira, Portugal*, Lisse, Netherlands, pp. 87–93. A. A. Balkema. ISBN 90 5809 524 6.
- [21] Zadeh, L. A. (1979). A theory of approximate reasoning. In J. E. Hayes, D. Mitchie, and L. I. Mikulich (Eds.), *Machine Intelligence*, Volume 9, pp. 149–150. North-Holland: Elsevier.

- [22] Ярушкина Н. Г. (2004). *Основы теории нечетких и гибридных систем*. М.: Финансы и статистика.
- [23] Ярушкина Н. Г., Наместников А. М. (2002). Эффективность генетических алгоритмов для задач автоматизированного проектирования. *Известия РАН – Теория и системы управления*, № 2.
- [24] Ярушкина Н. Г. (2002). Вычислительный интеллект: синергизм слова и числа. *Вычислительные системы и информационные технологии*, № 4.
- [25] Ярушкина Н. Г. (2002). Гибридные системы, основанные на мягких вычислениях: определение, архитектура, возможности. *Программные продукты и системы*, № 3.

УДК 519.226.2 : 519.233.2

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ ГРАДИЕНТА ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ПРАВДОПОДОБИЯ С ПОМОЩЬЮ РАСШИРЕННОГО КВАДРАТНО-КОРНЕВОГО ИНФОРМАЦИОННОГО АЛГОРИТМА ФИЛЬТРАЦИИ

М. В. Куликова*

*Кафедра Математической кибернетики и информатики
ул. Л. Толстого 42, Ульяновский государственный университет, 432970 Ульяновск Россия
e-mail: mkulikova@cam.wits.ac.za

Ключевые слова: градиент логарифмической функции правдоподобия, квадратно-корневые информационные алгоритмы фильтрации.

Аннотация. В статье рассмотрена задача вычисления оценки неизвестного параметра линейной стохастической системы методом максимума правдоподобия. Разработан новый эффективный способ вычисления градиента логарифмической функции правдоподобия на основе расширенного квадратно-корневого информационного алгоритма фильтрации. Приведены результаты численных экспериментов, иллюстрирующие реализацию и подтверждающие его работоспособность и эффективность.

1 Введение

Являясь одними из наиболее общих и часто используемых, методы основанные на вычислении логарифмической функции правдоподобия (ЛФП) и ее градиента широко применяются для решения таких задач как обнаружение нарушений и их диагностика [4], [6] в задачах идентификации и параметрического оценивания [1] и др. Таким образом, проблема эффективного вычисления ЛФП и ее градиента имеет особую практическую ценность и за последние несколько лет ее обсуждению было посвящено множество работ [1], [2], [7], [9], что подчеркивает ее актуальность и в наши дни.

Динамично развиваясь в последние годы, данное направление исследований принесло новые результаты: были разработаны и сформулированы новые алгоритмы фильтрации [5], обладающие рядом преимуществ перед ранее известными методами. Среди них можно отметить расширенный квадратно-корневой алгоритм (РККИФ). Целью данной статьи является разработка нового метода вычисления градиента ЛФП на основе РККИФ, представленного в [5]. Поскольку РККИФ обладает рядом преимуществ перед уже известными алгоритмами фильтрации, мы предполагаем, что метод вычисления градиента ЛФП, построенный на его основе, унаследует все его преимущества и тем самым будет более эффективен по сравнению с уже известными способами вычисления градиента ЛФП.

2 Постановка задачи

Метод максимума правдоподобия может быть применен к задаче вычисления оценок параметров линейных динамических систем.

Пусть дискретная динамическая система описывается следующими уравнениями

$$x_{t+1} = \Phi_t x_t + G_t w_t, \quad t = 0, 1, \dots, N, \quad (1)$$

$$z_t = H_t x_t + v_t, \quad t = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

где $x_t \in \mathbb{R}^n$ — вектор состояния системы, $z_t \in \mathbb{R}^m$ — доступный для наблюдений вектор измерений. $\{w_0, w_1, \dots\}$ и $\{v_1, v_2, \dots\}$ — независимые нормально распределенные векторы шумов с нулевыми средними и ковариационными матрицами Q_t и R_t , соответственно. Кроме того, последовательности шумов $\{w_0, w_1, \dots\}$ и $\{v_1, v_2, \dots\}$ не зависят от начального вектора состояния системы $x_0 \sim \mathcal{N}(\bar{x}_0, P_0)$.

Пусть элементы матриц $\Phi_t \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $G_t \in \mathbb{R}^{n \times q}$, $H_t \in \mathbb{R}^{m \times n}$, $Q_t \in \mathbb{R}^{q \times q}$ и $R_t \in \mathbb{R}^{m \times m}$, характеризующих систему (1), (2), являются достаточно гладкими функциями от некоторого вектора параметров $\theta \in \mathbb{R}^p$. Согласно методу максимума правдоподобия, наилучшими значениями неизвестных параметров θ_i , $i = 1, 2, \dots, p$, являются те значения, при которых результат наблюдений имеет наибольшую вероятность [3], что эквивалентно максимизации ЛФП $L_\theta(Z_1^N)$, построенной для результатов наблюде-

ний $Z_1^N = (z_1, z_2 \dots z_N)$ и в условиях системы (1), (2) принимающей следующий вид:

$$L_\theta (Z_1^N) = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^N \left\{ -\frac{m}{2} \ln(2\pi) - \ln(\det(R_{e,t})) - e_t^T R_{e,t}^{-1} e_t \right\},$$

где $e_t = z_t - H_t \hat{x}_t^-$ — невязка фильтра Калмана в момент времени t , характеризующаяся ковариационной матрицей $E\{e_t e_t^T\} = R_{e,t} = H_t P_t^- H_t^T + R_t$ и P_t^- — предсказанная оценка ковариации ошибки, вычисляемая в фильтре Калмана.

Максимизация $L_\theta (Z_1^N)$ эквивалентна минимизации функции $-L_\theta (Z_1^N)$. Обозначим отрицательную ЛФП, построенную для результата t -го наблюдения z_t в системе (1), (2) при условии обработки предыдущих результатов наблюдений через $l_\theta(z)$. Тогда

$$l_\theta(z) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{m}{2} \ln(2\pi) + \ln(\det(R_{e,t})) + e_t^T R_{e,t}^{-1} e_t \right\}. \quad (3)$$

С целью применения метода максимума правдоподобия для оценки неизвестного параметра $\theta \in \mathbb{R}^p$ системы (1), (2), разработаем новый алгоритм для вычисления градиента ЛФП $l_\theta(z)$, согласно которому для каждого момента времени $t = 1, \dots, N$, величины $\frac{\partial l(z)}{\partial \theta_i}$, $i = 1, 2, \dots, p$, определяются рекуррентно.

3 Алгоритм вычисления градиента логарифмической функции правдоподобия

Информационные алгоритмы фильтрации являются одними из наиболее важных и широко известных классов методов. Они часто применяются для решения задач в условиях очень скудной априорной информации или ее отсутствии, т. е. в тех ситуациях, когда применение ковариационных алгоритмов не способно решить проблему, что еще раз подчеркивает важность разработки информационных типов методов.

Исходя из цели, поставленной выше, рассмотрим РККИФ, предложенный в [5]. Однако, для удобства дальнейшего изложения сформулируем его в следующем виде: предполагая, что $P_0 > 0$, $R_t > 0$ и F_t обратимы, по данным $\hat{x}_0^- = \bar{x}_0$, $P_0^- = P_0$ вычисляем:

$$\begin{aligned} O_t & \left[\begin{array}{ccc|c} R_t^{-T/2} & -R_t^{-T/2} H_t F_t^{-1} & R_t^{-T/2} H_t F_t^{-1} G_t Q_t^{T/2} & -R_t^{-T/2} z_t \\ 0 & (P_t^-)^{-T/2} F_t^{-1} & -(P_t^-)^{-T/2} F_t^{-1} G_t Q_t^{T/2} & (P_t^-)^{-T/2} \hat{x}_t^- \\ 0 & 0 & I_q & 0 \end{array} \right] \\ & = \left[\begin{array}{ccc|c} R_{e,t}^{-T/2} & 0 & 0 & -\bar{e}_t \\ -(P_{t+1}^-)^{-T/2} K_{p,t} & -(P_{t+1}^-)^{-T/2} & 0 & (P_{t+1}^-)^{-T/2} \hat{x}_{t+1}^- \\ * & * & * & * \end{array} \right], \quad (4) \end{aligned}$$

где O_t — ортогональное преобразование, приводящее к блочному нижнему треугольному виду матрицу, стоящую в правой части формулы (4), $(P_t^-)^{1/2}$ — верхняя треугольная матрица, являющаяся квадратным корнем матрицы P_t^- , т. е. $P_t^- = (P_t^-)^{T/2} \times (P_t^-)^{1/2}$. Аналогично, $P_{t+1}^- = (P_{t+1}^-)^{T/2} (P_{t+1}^-)^{1/2}$, $R_t = (R_t)^{T/2} (R_t)^{1/2}$, $Q_t = (Q_t)^{T/2} \times (Q_t)^{1/2}$ и $R_{e,t} = (R_{e,t})^{T/2} (R_{e,t})^{1/2}$. Для всех выше приведенных матриц используются следующие обозначения: $A^{T/2} = (A^{1/2})^T$, $A^{-1/2} = (A^{1/2})^{-1}$ и $A^{-T/2} = (A^{-1/2})^T$. В формуле (2.1) $K_{p,t} = F_t P_t^- H_t^T R_{e,t}^{-1}$ и I_q — единичная матрица размера $q \times q$.

Выпишем формулу для вычисления градиента ЛФП для системы (1), (2) в терминах РККИФ. Заметим, что матрица $R_{e,t}^{1/2}$ является верхней треугольной. Следовательно, справедливы утверждения

$$\ln(\det(R_{e,t})) = 2 \ln(\det(R_{e,t}^{1/2}))$$

и

$$\frac{\partial}{\partial \theta_i} \left[\ln(\det(R_{e,t}^{1/2})) \right] = \mathbf{tr} \left[R_{e,t}^{-1/2} \frac{\partial (R_{e,t}^{1/2})}{\partial \theta_i} \right], \quad (5)$$

где $\mathbf{tr}[\cdot]$ — след матрицы.

Дифференцируя (3), подставляя (5) и приняв во внимание, что $\det A^{-1} = (\det A)^{-1}$, получаем:

$$\frac{\partial l(z)}{\partial \theta_i} = -\mathbf{tr} \left[R_{e,t}^{1/2} \frac{\partial (R_{e,t}^{-1/2})}{\partial \theta_i} \right] + \bar{e}_t^T \frac{\partial \bar{e}_t}{\partial \theta_i}, \quad i = 1, 2 \dots p. \quad (6)$$

Далее, работая с блоками матриц и используя идею [1], расширив ее (и схему вычислений) на случай прямоугольных матриц, сформулируем новый метод вычисления градиента ЛФП (6) на основе РККИФ (4). Для каждого момента времени t действуем в соответствии со следующим алгоритмом:

Алгоритм 1

I. Применяем ортогональное преобразование O_t (4) к матрице:

$$O_t \begin{bmatrix} \frac{\partial (R_t^{-T/2})}{\partial \theta_i} & \frac{\partial (S_t^{(1)})}{\partial \theta_i} & \frac{\partial (S_t^{(2)})}{\partial \theta_i} & \frac{\partial (S_t^{(3)})}{\partial \theta_i} \\ 0 & \frac{\partial (S_t^{(4)})}{\partial \theta_i} & \frac{\partial (S_t^{(5)})}{\partial \theta_i} & \frac{\partial (S_t^{(6)})}{\partial \theta_i} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i & Y_i & M_i & L_i \\ N_i & V_i & W_i & K_i \\ * & * & * & * \end{bmatrix},$$

где вычисления производятся для каждого θ_i , $i = 1, 2 \dots p$, и приняты следующие обозначения:

$$\begin{aligned} S_t^{(1)} &= -R_t^{-T/2} H_t F_t^{-1}, & S_t^{(2)} &= R_t^{-T/2} H_t F_t^{-1} G_t Q_t^{T/2}, \\ S_t^{(3)} &= -R_t^{-T/2} z_t, & S_t^{(4)} &= (P_t^-)^{-T/2} F_t^{-1}, \\ S_t^{(5)} &= -(P_t^-)^{-T/2} F_t^{-1} G_t Q_t^{T/2}, & S_t^{(6)} &= (P_t^-)^{-T/2} \hat{x}_t^-. \end{aligned}$$

II. Далее работаем с блоками матриц. Для каждого θ_i , $i = 1, 2 \dots p$, вычисляем:

$$J_i^{(1)} = \begin{bmatrix} X_i & Y_i & M_i \\ N_i & V_i & W_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{e,t}^{-T/2} & 0 & 0 \\ -(P_{t+1}^-)^{-T/2} K_{p,t} & -(P_{t+1}^-)^{-T/2} & 0 \\ * & * & * \end{bmatrix}^{-1}.$$

III. Для каждого θ_i , $i = 1, 2 \dots p$, представляем, вычисленную на этапе II матрицу $J_i^{(1)}$ в следующем виде:

$$J_i^{(1)} = \left[\underbrace{L_i^{(1)} + D_i^{(1)} + U_i^{(1)}}_{m+n} \mid \begin{matrix} * & * & * \end{matrix} \right]_{m+n},$$

где $L_i^{(1)}$, $D_i^{(1)}$ и $U_i^{(1)}$ – соответственно нижнетреугольная (без главной диагонали), диагональная и верхнетреугольная (без главной диагонали) части подматрицы, сформированной из первых $m+n$ столбцов и строк матрицы $J_i^{(1)}$. Звездочками обозначим блок матрицы $J_i^{(1)}$ размера $(m+n) \times q$, который не представляет в данном случае для нас интереса;

IV. Для каждого θ_i , $i = 1, 2 \dots p$, находим следующие величины:

$$\begin{aligned} J_i^{(2)} &= \begin{bmatrix} \frac{\partial(R_{e,t}^{-T/2})}{\partial\theta_i} & 0 \\ \frac{\partial(-(P_{t+1}^-)^{-T/2} K_{p,t})}{\partial\theta_i} & \frac{\partial((P_{t+1}^-)^{-T/2})}{\partial\theta_i} \end{bmatrix} = \\ &= [L_i^{(1)T} + D_i^{(1)} + U_i^{(1)}] \begin{bmatrix} R_{e,t}^{-T/2} & 0 \\ -(P_{t+1}^-)^{-T/2} K_{p,t} & (P_{t+1}^-)^{-T/2} \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} -\frac{\partial\bar{e}}{\partial\theta_i} \\ \frac{\partial(S_{t+1}^{(6)})}{\partial\theta_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_i^{(2)} - \begin{bmatrix} X_i & Y_i \\ N_i & V_i \end{bmatrix} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_t^{-T/2} & S_t^{(1)} \\ 0 & S_t^{(4)} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} S_t^{(3)} \\ S_t^{(6)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_i \\ K_i \end{bmatrix}.$$

V. Вычисляем градиент ЛФП согласно формуле (6)

$$\frac{\partial l(z)}{\partial \theta_i} = -\mathbf{tr} \left[R_{e,t}^{1/2} \frac{\partial (R_{e,t}^{-1/2})}{\partial \theta_i} \right] + \bar{e}_t^T \frac{\partial \bar{e}_t}{\partial \theta_i}, \quad i = 1, 2, \dots, p, \quad (7)$$

и выдаем искомый результат $\frac{\partial l(z)}{\partial \theta_i}$, $i = 1, 2, \dots, p$.

Как предполагалось ранее, разработанный для вычисления градиента ЛФП, Алгоритм 1 наследует все преимущества “базового” алгоритма фильтрации (РККИФ):

1. поскольку все величины, необходимые для вычисления градиента ЛФП в момент времени t , а также все величины, необходимые для осуществления следующего $(t + 1)$ -го шага Алгоритма 1, вычисляются независимо и могут быть получены одновременно, то это делает его более приспособленным к параллельным вычислениям, чем, например, ранее известные алгоритмы фильтрации;
2. заметим, что для каждого момента времени t , согласно Алгоритму 1, единственной матрицей, для которой требуется вычисление обратной, является верхнетреугольная матрица $R_t^{1/2}$. (В случае если $P_0 \neq I_n$, также необходимо вычислить $P_0^{-1/2}$). Таким образом, работоспособность Алгоритма 1 определяется в основном только свойствами матрицы $R_t^{1/2}$;
3. поскольку матрицы $R_{e,t}$ и ее градиент являются верхними треугольными, то для вычисления градиента ЛФП согласно формуле (7) в каждый момент времени t необходимо находить только их диагональные элементы. Это свойство Алгоритма 1 позволяет избежать обращения матрицы ковариации невязки $R_{e,t} \in \mathbb{R}^{m \times m}$ и тем самым сократить общее число арифметических действий на вычисления. Заметим, что тем же свойством обладает и “базовый метод”, т. е. РККИФ (4).

Замечание 1 Отметим, что избежать обращения матрицы $R_{e,t} \in \mathbb{R}^{m \times m}$ можно и с помощью специальной процедуры, известной как “скаляризация” измерений. Алгоритмы, разработанные для вычисления ЛФП, основанные на методе “скаляризации” этапа обработки измерений представлены в [8], [9]. Однако, РККИФ и, следовательно, Алгоритм 1, построенный на его основе, обладают этим свойством изначально.

Корректность выше предложенного алгоритма вытекает из следующей теоремы.

Теорема 1 Пусть элементы матриц $\Phi_t \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $\Gamma_t \in \mathbb{R}^{n \times q}$, $H_t \in \mathbb{R}^{m \times n}$, $Q_t \in \mathbb{R}^{q \times q}$ и $R_t \in \mathbb{R}^{m \times m}$, характеризующих дискретную линейную динамическую систему вида (1), (2), являются достаточно гладкими функциями от некоторого вектора параметров $\theta \in \mathbb{R}^p$. Предполагаем, что матрицы $P_0 > 0$, $R_t > 0$ и F_t обратимы. Тогда градиент ЛФП, построенной для результата t -го наблюдения z_t при условии обработки предыдущих наблюдений, может быть вычислен с помощью Алгоритма 1.

Таблица 1: Значение ЛФП и ее градиента, вычисленные на основе фильтра Калмана и РККИФ

τ	значение отрицательной ЛФП			значение градиента ЛФП		
	КФ (y_1)	РККИФ (y_2)	$ y_1 - y_2 $	дифф. КФ (y_3)	Алгоритм 1 (y_4)	$ y_3 - y_4 $
10	393.3	393.3	1.1E-14	-0.41	-0.41	6.8E-14
20	389.8	389.8	4.0E-15	-0.22	-0.22	1.1E-14
30	388.8	388.8	2.0E-15	-0.01	-0.01	3.8E-15
40	389.2	389.2	6.9E-16	0.08	0.08	4.9E-15
50	390.1	390.1	1.7E-15	0.09	0.09	2.6E-15
60	391.2	391.2	5.9E-15	0.10	0.10	8.7E-16
$\tau^* = 30, \quad \hat{\tau}_{\min} = 30, \quad \hat{\tau}_{grad} = 30.$						

4 Вычислительные эксперименты

Покажем на примерах как работает новый метод вычисления градиента ЛФП. С этой целью применим Алгоритм 1 к задаче нахождения оценки неизвестного параметра линейной динамической системы. В качестве теста используем пример, предложенный в [1].

Пусть система вида (1), (2) описывается следующими уравнениями

$$x_{t+1} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & e^{-\Delta t/\tau} \end{bmatrix} x_t + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} w_t, \quad (8)$$

$$z_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} x_t + v_t, \quad (9)$$

где $Q_t = I_1$, $R_t = I_1$ и $\bar{x}_0 = 0$, $P_0 = I_2$ и τ — неизвестный параметр, значение которого необходимо оценить. Для решения поставленной задачи применим метод максимума правдоподобия.

Прежде всего покажем как работают на практике РККИФ и Алгоритм 1. С этой целью, вычислим значение отрицательной ЛФП на основе РККИФ (4), используя формулу (6), и сравним полученный результат со значением ЛФП, построенной на основе фильтра Калмана (КФ). Далее, вычислим значение градиента ЛФП, на основе “дифференцированного” КФ и Алгоритма 1. Проведем эксперимент¹ в следующих условиях: 1) $\tau^* = 30$ — реальное значение параметра τ для рассматриваемого примера (8), (9); 2) отрицательная ЛФП и ее градиент строятся на отрезке $\tau \in [10, 60]$. По его результатам сформируем табл. 1.

Анализируя полученные данные, легко видеть, что все упомянутые выше алгоритмы для вычисления отрицательной ЛФП и ее градиента производят один и тот же результат. Таким образом, на практике подтверждается работоспособность Алгоритма 1, разработанного для вычисления градиента ЛФП на основе РККИФ.

¹все вычислительные эксперименты проводились с использованием компьютерной системы матричных вычислений MatLab

Таблица 2: Оценка максимума правдоподобия параметра τ , полученная с помощью КФ, “дифференцированного” КФ, РККИФ и Алгоритма 1

Эксперимент		КФ и “дифференцированный” КФ				РККИФ и Алгоритм 1			
N	τ^*	$\hat{\tau}_{\min}$	$\hat{\tau}_{grad}$	e_a	$e_r, \%$	$\hat{\tau}_{\min}$	$\hat{\tau}_{grad}$	e_a	$e_r, \%$
1	30	29	29	1	3,33	29	29	1	3,33
2	30	30	30	0	0,00	30	30	0	0,00
3	30	31	31	1	3,33	31	31	1	3,33
4	30	30	30	0	0,00	30	30	0	0,00
5	30	31	31	1	3,33	31	31	1	3,33
6	30	29	29	1	3,33	29	29	1	3,33
7	30	29	29	1	3,33	29	29	1	3,33
8	30	29	29	1	3,33	29	29	1	3,33
9	30	31	31	1	3,33	31	31	1	3,33
10	30	31	31	1	3,33	31	31	1	3,33
средняя относительная ошибка оценивания $\bar{e}_r = 2,7\%$									

Введем следующие обозначения: τ^* — реальное значение параметра τ для системы (8), (9); $\hat{\tau}_{\min}$ — значение параметра τ , соответствующее минимуму отрицательной ЛФП, т. е. минимуму функции $-L_\theta(Z_1^N)$; $\hat{\tau}_{grad}$ — значение, при котором градиент ЛФП равен нулю.

Анализируя данные табл. 1, сделаем еще один важный вывод, также подтверждающий работоспособность Алгоритма 1: значение параметра τ , при котором градиент ЛФП совпадает с нулем, равен оценке, полученной исходя из минимума отрицательной ЛФП, или в принятых нами обозначениях $\hat{\tau}_{grad} = \hat{\tau}_{\min}$. Более того, в данном эксперименте оценка максимума правдоподобия совпадает с реальным значением параметра τ , т. е. $\hat{\tau}_{grad} = \hat{\tau}_{\min} = \tau^* = 30$.

Далее, проведем серию, состоящую из 10 вычислительных экспериментов, по результатам которых сформируем табл. 2. Введем следующие обозначения: $e_a = |\tau^* - \hat{\tau}_{grad}|$ — абсолютная ошибка оценивания; $e_r = |\tau^* - \hat{\tau}_{grad}|/|\tau^*|$ — относительная ошибка оценивания. Анализ представленных в табл. 2 данных позволяет сделать следующие выводы:

1. оценка максимума правдоподобия параметра τ , полученная с помощью организации вычислений на основе “дифференцированного” КФ совпадает с оценкой, полученной с помощью Алгоритма 1;
2. для обоих, примененных в данной серии экспериментов методов вычислений, оценка $\hat{\tau}_{\min} = \hat{\tau}_{grad}$;
3. все оценки максимума правдоподобия близки к реальному значению параметра системы, т. е. к $\tau^* = 30$: средняя относительная ошибка оценивания \bar{e}_r в 10

экспериментах не превышает 3%.

Таким образом, данные табл. 2 еще раз подтверждают сделанные ранее выводы о работоспособности нового метода вычисления градиента ЛФП.

5 Заключение

В статье предложен новый эффективный способ вычисления градиента ЛФП, сформулированный на основе РККИФ. Все теоретические выводы подтверждены практическими вычислениями.

Автор благодарит научного руководителя проф. И.В. Семушина за постановку проблемы и внимание к работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Bierman, G. J., Belzer M.R., Vandergraft J.S., and Porter D.W. *Maximum Likelihood Estimation Using Square Root Information Filters*, IEEE Trans. on Autom. Contr. , Vol. **35(12)**, pp. 1293–1298, 1990.
- [2] Bierman, G. J.: *Factorization Methods for Discrete Sequential Estimation*. Academic Press, New York, 1977
- [3] Ван-дер-Вардер, *Математическая статистика*. М.: Изд-во иностранной литературы, 1960.
- [4] P.M. Newbold, Yu-Chi Ho, *Detection of Changes in the Characteristics of a Gauss-Markov Process*, IEEE Trans. on Aerosp. and Electron. Systems, Vol. **AES-4(5)**, pp. 707–718, 1968.
- [5] Park, P., Kailath, T.: *New square-root algorithms for Kalman filtering*. IEEE Trans. on Automatic Control. **40(5)**, 895–899, 1995.
- [6] Kailath T., Poor H.V., *Detection of Stochastic Processes*, IEEE Trans. on Inform. Theory, Vol. **44(6)**, pp. 2230–2259, 1998.
- [7] Schweppe F.C., *Evaluation of Likelihood Functions for Gaussian Signals*, IEEE Trans. on Inform. Theory, Vol. **IT-11(1)**, pp. 61–70, 1965.
- [8] И.В. Семушин., Ю.В. Цыганова., М.В. Куликова, *О вычислении функции правдоподобия для гауссовских марковских последовательностей*, Ученые записки Ульяновского государственного университета, Сер. “Фундаментальные проблемы математики и механики”, Вып. **2(9)**, с. 93-100, 2000.
- [9] Semoushin, I.V., Tsyganova, J.V. *An efficient way to evaluate likelihood functions in terms of Kalman filter variables*. In: Murgu, A., Lasker, G. E. (eds) Adaptive, Cooperative and Competitive Processes in Systems Modelling, Design and Analysis,

67–74. The International Institute for Advanced Studies in Systems Research & Cybernetics, University of Windsor, Windsor, Ontario, Canada, 2002.

УДК 519.226.2 : 519.233.2

STOCHASTIC CONTROL ITERATED DESIGN OPTIMIZATION USING GENETIC ALGORITHMS

Maria Fedorova*

*Кафедра Математической кибернетики и информатики
ул. Л. Толстого 42, Ульяновский государственный университет, 432970 Ульяновск Россия
e-mail: fma@yandex.ru

Ключевые слова: Applications for CE, iterated design optimization.

Аннотация. *This paper proposes and experimentally examines application of Genetic Algorithms (GAs) to the problem of open and closed loop stochastic control optimization under uncertainties. A comparison is made of GAs and conventional numeric methods. All the work findings have been made on the basis of experimental data with the help of a specially designed software product.*

1 Introduction

Control engineering often must consider the control of poorly understood systems such as chemical, industrial or economic processes for the benefit of society. The present challenge to control engineers is the modeling and control of complex, interrelated systems under uncertainty such as traffic-control systems, robotic systems, and industrial automation systems. The necessity to maintain high system performance under uncertain and contingent changes in the model of operating conditions, has led to development of great many numerical methods, now often called “classical.” They provide the solid basis for change point detection, for change isolation, for after-change model identification, and lastly, for system accommodation (adaptation) to the newly emerged operating conditions [2].

Implementation of the classical methods is generally an intricate problem. The classical numerical and mathematical programming methods are not able sometimes to guarantee good results: reliable detection and quick-acting adaptation for low computational cost. The fact that sometimes they cannot provide the satisfactory results in terms of benefit-cost ratio or performance-cost ratio or quality-cost ratio has heightened the need for borrowing the adaptation mechanisms from the natural evolution.

Evolutionary algorithms are relatively new, but very powerful techniques intended to find solutions to many real-world search and optimization problems [4]. Evolutionary Computing and other non-standard approaches such as Fuzzy Technology and Neural Networks, are merged in the area of “Intelligent Techniques” or “Computational Intelligence” (CI). The last three decades have witnessed a very strong growth of CI.

The genetic methods within CI are of special interest because of their potential ability to handle complex optimization problems using a simple and relatively inexpensive model. Motivated by genetics, the basic idea of GAs is to select the best performer (in our case, the best filter) from a population and thus to improve control from trial to trial. Such remedial actions can be treated as system iterated design optimization, or system re-design over life-cycle years.

In this paper, we solve the problem of filter optimization for stochastic control under uncertainties in a class of systems known as trackers [7]. Two approaches to filter optimization are experimentally compared: the classical one and that based on GAs.

The outline of the paper is as follows. Section 2 describes the problem including the monitored system, Kalman filter and adaptive filter. A system example and a brief description of applied genetic algorithms are given in Section 4. Some computational results are presented and discussed in Section 5. Finally, Section 6 concludes the paper.

2 Problem statement

Let a given system (1)–(2) be parameterized by a vector $\theta \in \mathbb{R}^p$ and available data $z = \begin{bmatrix} y \\ u \end{bmatrix}$ be a vector composed of two parts: the control input $u \in \mathbb{R}^q$ and the measurement

output $y \in \mathbb{R}^m$. The control system is described for $i \in \mathbb{Z}$ by the equations:

$$x(t_{i+1}) = \Phi_\theta x(t_i) + \Psi_\theta u(t_i) + w(t_i) \quad (1)$$

$$y(t_i) = H_\theta x(t_i) + v(t_i), \quad x \in \mathbb{R}^n \quad (2)$$

$$\hat{x}_0(t_{i+1}^-) = \Phi_0 \hat{x}_0(t_i^+) + \Psi_0 u(t_i), \quad \hat{x}_0 \in \mathbb{R}^n \quad (3)$$

$$\hat{x}_0(t_i^+) = \hat{x}_0(t_i^-) + K_0 \nu(t_i) \quad (4)$$

$$\nu(t_i) = y(t_i) - H_0 \hat{x}_0(t_i^-) \quad (5)$$

$$u(t_i) = f_{\mathbb{R}}[\hat{x}_0(t_i^+)] = -G_0^* \hat{x}_0(t_i^+) \quad (6)$$

with $\{w(\cdot)\}, \{v(\cdot)\}$ being zero mean i.i.d. sequences of covariance Q_θ and R_θ respectively. The state difference equation (1) is propagated forward from the initial condition $x(t_{-s})$ of the finite expectation $\mathbf{E} \{\|x(t_{-s})\|^2\} < \infty$. The initial state is placed at some $t_{-s} \in \mathbb{R}^1$ where $s > 0$ determines what is termed settling time $T_s = t_0 - t_{-s}$ needed to think of all processes in (1)–(6) as wide-sense stationary for $i \geq 0$. As usual, equation (1) represents a given plant, equation (2) a given sensor, and (3)–(6) a feedback to be iteratively designed. The initial feedback design is to be composed of Kalman Filter (KF₀) with the Kalman gain K_0 , (3)–(5), cascaded with Regulator (R₀), (6), described by a given function $f_{\mathbb{R}}[\cdot]$ of the measurement updated estimate $\hat{x}_0(t_i^+)$ or chosen according to the second equality in (6) with a given (or initially designed) regulator gain matrix G_0^* .

Matrices defining the feedback (3)–(6) are assumed to be initially given as Φ_0, Ψ_0, Q_0, H_0 and R_0 for a *nominal mode of operation*, i.e., for a *nominal value* $\theta_0 \in \Theta$ of the uncertainty parameter $\theta \in \Theta$ taken from a set Θ of possible modes.

However, parameter θ is subject to abrupt changes. Each single change occurs at an unknown time point $t_{c_1} > t_0$. This can be viewed as a switch of θ from θ_0 to some other unknown value $\theta_1 \in \Theta$. To keep the feedback close to optimal for the newly emerged mode (defined by θ_1), it is necessary to correspondingly re-design the feedback. The optimal re-design would be Kalman Filter number 1 (KF₁) corresponding to θ_1 , with Kalman gain K_1 and outputs $\hat{x}_1(t_{i+1}^-)$ and $\hat{x}_1(t_i^+)$, cascaded with Regulator number 1 (R₁) described by the same function $f_{\mathbb{R}}[\cdot]$ of $\hat{x}_1(t_i^+)$ or chosen similarly to the second equality in (6) as $-G_1^*$ with the correspondingly re-designed regulator gain matrix G_1^* . The feedback so re-designed (and marked by subscript ₁) would have to be substituted for the above described initial feedback (marked by subscript ₀). This can be figuratively expressed by the following assignment operators:

$$\text{KF}_0 := \text{KF}_1, \quad \text{R}_0 := \text{R}_1, \quad t_0 := t_{c_1} \quad (7)$$

The challenge is that the above optimal re-design cannot be performed because $\theta_1 \in \Theta$ and t_{c_1} are unknown and so in reality can be only replaced by estimates $\hat{\theta}_1 \in \Theta$ and \hat{t}_{c_1} produced by an applicable practical parameter estimation algorithm for re-design (APPEAR). The problem is to construct the APPEAR such that it could be applied iteratively when the next change occurs. Undeniably, the next change is supposed to occur at a next time point $t_{c_1} \gg t_0$ such that the time interval $t_{c_1} - t_0$ would be enough for completing the operation of the APPEAR.

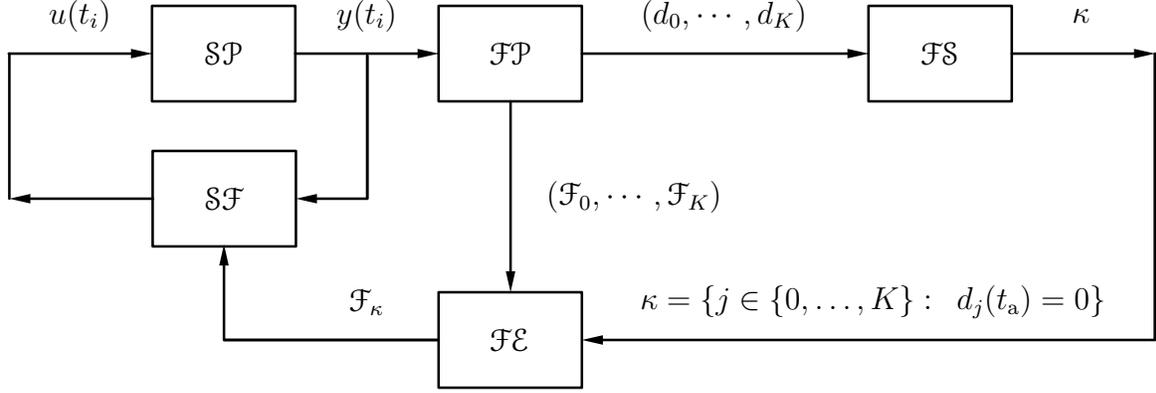


Рис. 1: The general framework for change point detection and filter selection. *Legend:* \mathcal{SP} stands for system population, each member of \mathcal{SP} being in reality the system (1)–(2) with a particular value $\theta_k \in \Theta$, $k \in \{0, 1, \dots, K\}$, $K \in \mathbb{N}$. \mathcal{FP} stands for filter population of size K ; each member \mathcal{F}_k of \mathcal{FP} is the Kalman filter KF_{θ_k} being the optimal one with respect to system (1)–(2) with a particular value $\theta_k \in \Theta$. For each single KF_{θ_k} , decision $d_k = 0$ is made in support of KF_{θ_k} or decision $d_k = 1$ is made in refusal of KF_{θ_k} . \mathcal{FS} stands for filter selection based on the all partial decisions $\{d_k\}$. The stopping rule generated by the \mathcal{DG} is defined by the alarm time $t_a = \min\left\{t_k : (\exists \kappa : d_\kappa(t_k) = 0 \ \& \ \forall_{j \neq \kappa} d_j(t_k) = 1)\right\}$. \mathcal{FE} stands for feedback effector to implement the desired action (7) in the system feedback \mathcal{SF} . The only filter selected and uploaded to \mathcal{SF} is \mathcal{F}_κ .

In fact, one has two problems to be solved:

1. *Detection.* It is necessary to detect the every change point t_{c_1} for low cost and with a reasonable delay and required reliability, i.e., a *decision generator*, \mathcal{DG} , is needed. It makes its decision at the alarm time t_a in support of an abrupt change thus assigning $\hat{t}_{c_1} := t_a$.

2. *Selection.* After the above decision has been made, a system population, \mathcal{SP} , should be assumed to approximately reflect the set Θ of possible (after-change) modes of operation, so that the corresponding Kalman filter population, \mathcal{FP} , could be built. Then it will be necessary to select from \mathcal{FP} the only one filter, \mathcal{F}_κ , that could be recognized as the best performer in the sense that it most closely matches the newly occurred mode of system operation, according to Figure 1.

These problems can be solved by one of many existing methods [1], for example, by using the weighted square innovation as a fitness function (FF) [11]. In this paper we assume that these problems must be solved using another type of FF proposed in [8] in the context of the so called ‘‘Statistical Orthogonality Principle’’.

To guarantee existence of the steady-state Kalman gain K_θ for each single mode of operation (uniquely predetermined by a $\theta \in \Theta$), we assume the pair $(\Phi_\theta, Q_\theta^{1/2})$ to be *stabilizable*, the pair (Φ_θ, H_θ) *observable*, and the pair $(\Phi_\theta, \Psi_\theta)$ *controllable* [5]. Then the matrix G_θ^* can be designed to be LQG optimal for each single mode of operation, too, (i.e., optimal for each $\theta \in \Theta$) [7].

3 Decision generator for detection

Given the k -th mode of operation ($\theta = \theta_k$), for a filter $\text{KF}_{\hat{\theta}}$ with the design parameter $\hat{\theta} \in \mathbb{R}^p$, to be optimal, i.e., equal to KF_{θ_k} minimizing a mean square criterion

$$J(\hat{\theta}) \triangleq \frac{1}{2} \mathbf{E} \left\{ \varepsilon(t_i, \hat{\theta})^T \varepsilon(t_i, \hat{\theta}) \right\} \quad (8)$$

with a residual $\varepsilon(t_i, \hat{\theta})$, it is necessary (and, in most practical cases, sufficient) that all the expectations

$$\zeta_j^k(t_i, \hat{\theta}) = \mathbf{E} \left\{ \left(\frac{\partial \varepsilon(t_i, \hat{\theta})}{\partial \hat{\theta}_j}, \varepsilon(t_i, \hat{\theta}) \right) \mid \theta = \theta_k \right\} \quad (9)$$

of the dot product (\cdot, \cdot) lie in the immediate vicinity of zero ($\forall k \in \{0, 1, \dots, K\}$, $j \in \{1, 2, \dots, p\}$). Consequently, it is possible to base the \mathcal{DG} (Fig. 1) on the following partial decisions:

$$d_k = \begin{cases} 0 & \text{if } \sum_{j=1}^p \left| 0.5 - \frac{n_j^k}{M} \right| < \gamma_0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

with a threshold γ_0 where n_j^k is the number of negative outliers of the process $\hat{\zeta}_j^k(t_i)$, an estimator of $\zeta_j^k(t_i)$, in the current sample of size M .

Thus, the \mathcal{DG} implementation boils down to construction of a workable residual $\varepsilon(t_i, \hat{\theta})$, – “workable” means available and such that the above necessary and sufficient property of the performance index (8) concerning the process (9) holds. The useful solution of this problem known as “*Auxiliary Performance Index*” (API) approach can be seen in [9, ?] or in [10]. Using this approach, we construct the desired “signal functions” (9) in the form of their exponentially smoothed estimators

$$\hat{\zeta}_j^k(t_i, \hat{\theta}) = \alpha \hat{\zeta}_j^k(t_{i-1}, \hat{\theta}) + \beta \left(\frac{\partial \varepsilon(t_i, \hat{\theta})}{\partial \hat{\theta}_j}, \varepsilon(t_i, \hat{\theta}) \right) \quad (11)$$

with the smoothing factor α , $\alpha + \beta = 1$.

Remark 1. In the above, $\hat{\theta}$ stands for any particular value θ_k in the \mathcal{FP} .

Remark 2. The same signal functions (11) we use in the following conventional numerical methods chosen to compare with them the GAs as a concurrent engineering tool for the control systems iterated design optimization: (i) Simple Stochastic Approximation (SSA), (ii) Simplified Least Squares (SSA) [3].

4 GA based filter selection

To test the use of GAs for filter selection, we take in this work a special case of the system (1)-(6) known as trackers and designed to regulate the tracking error $e(t_i)$ to zero,

with the following notations where “p” stands for “plant” and “r” for “reference signal”:

$$\begin{aligned}
 x &= \begin{bmatrix} x_p \\ x_r \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^2, & \Phi_\theta = \Phi_0 &= \begin{bmatrix} \Phi_p & 0 \\ 0 & \Phi_r \end{bmatrix} \\
 \Psi_\theta = \Psi_0 &= \begin{bmatrix} \Psi_p \\ 0 \end{bmatrix}, & Q_\theta &= \begin{bmatrix} Q_p & 0 \\ 0 & Q_r \end{bmatrix} \\
 H_\theta = H_0 &= \begin{bmatrix} H_p & 0 \\ 0 & C_r \end{bmatrix}, & R_\theta &= \begin{bmatrix} R_p & 0 \\ 0 & R_r \end{bmatrix} \\
 e(t_i) &= C_p x_p(t_i) - C_r x_r(t_i) \\
 u(t_i) &= -G_p \hat{x}_{0p}(t_i^+) - G_r \hat{x}_{0r}(t_i^+)
 \end{aligned}$$

For simulation, the tracker described in [7] has been chosen where

$$\begin{aligned}
 \Phi_p &= 0.82, & \Phi_r &= 0.61, & \Psi_p &= 0.18, & C_p &= 1 \\
 C_r &= 1, & G_p &= 0.36, & G_r &= -0.19
 \end{aligned}$$

For the Kalman filter design, we have

$$\begin{aligned}
 H_p &= 1, & Q_p &= 0.084\sigma_p^2, & Q_r &= 0.63\sigma_r^2 \\
 \sigma_p^2 &= var, & \sigma_r^2 &= var, & R_p &= var, & R_r &= var
 \end{aligned}$$

where “var” stands for the variable quantities. In this example the design parameter $\hat{K} = [\hat{K}_p \mid \hat{K}_r]^T$ is a pair of real numbers each belongs to $(0; 1)$.

The basic element processed by a GA is the string (chromosome) formed by concatenating a substring (gene) each of which is a binary code of a parameter of search space [6]. Thus each string represents a possible solution to the problem. The GA works with a set of strings, called the population. This population then evolves from generation to generation through the application of genetic operators. A GA in its simplest form uses three operators: Selection, Crossover and Mutation.

We investigate the following possibilities to construct the genetic operators:

ENCODING

1. A chromosome is a binary code of the fractional part of \hat{K} . For example, 1011 represents $\hat{K} = 1 \cdot 2^{-1} + 0 \cdot 2^{-2} + 1 \cdot 2^{-3} + 1 \cdot 2^{-4} = 0.6875$.

2. A chromosome is a binary code. The range $(0; 1)$ is divided by $2^l - 1$ intervals where l is the chromosome length. Each interval has a number represented by binary code. The parameter is the middle point of the interval representing the chromosome.

3. A chromosome is a Gray code. The range $(0; 1)$ is divided by $2^l - 1$ intervals, where l is the chromosome length. Each interval has a number represented by Gray code. The

parameter is the middle point of the interval representing the chromosome.

FITNESS FUNCTION

The method used in (10) is sometimes called “polar correlator” method. We extend the use of it to include the fitness function $F(k)$ construction as follows:

1. $\forall k = 1, 2, \dots, K; j = 1, 2, \dots, p$ compute

$$\delta_j^k = \left| 0.5 - \frac{n_j^k}{M} \right|$$

2. $\forall k = 1, 2, \dots, K$ compute

$$\delta_k = \sum_{j=1}^p \delta_j^k$$

3. Find

$$\Delta = \max_k \delta_k$$

4. $\forall k = 1, 2, \dots, K$ obtain

$$F(k) = [-\delta_k + \Delta + 0.1] \times 10$$

The $F(k)$ is assigned to each individual k in the population where high values mean good fit. The assignment is made at the end of a sample with number $l = 1, 2, \dots, L$, each sample of size M .

SELECTION

There are a number of ways to do selection.

1. *Roulette wheel.* Each individual is represented by a space that proportionally corresponds to its fitness. By repeatedly spinning the roulette wheel, individuals are chosen using “stochastic sampling with replacement” to fill the intermediate population.

2. *Remainder stochastic sampling.* For each string k where $F(k)/\bar{F}$ is greater than 1.0 (\bar{F} is the average fitness), the integer portion of this number indicates how many copies of that string are directly placed in the intermediate population. All strings (including those with $F(k)/\bar{F}$ less than 1.0) then place additional copies in the intermediate population with a probability corresponding to the fractional portion of $F(k)/\bar{F}$. For example, a string with $F(k)/\bar{F} = 1.36$ places one copy in the intermediate population, and then receives a 0.36 chance of placing the second copy. A string with $F(k)/\bar{F} = 0.54$ has a 0.54 chance of placing one string in the intermediate population.

ELITISM

Elite factor is a number of chromosomes passing from current population into future population without any operations as being the best ones.

CROSSOVER

The main operator to work on the parents is crossover, which is applied with a certain probability, called crossover rate p_c (in our case $p_c = 1$).

1. *Single-point crossover*. The crossover takes two individuals from intermediate population, and cuts their chromosome strings at some randomly chosen position, to produce two “head” segments, and two “tail” segments. The tail segments are then swapped over to produce two new full length chromosomes:

$$\left\{ \begin{array}{l} 000:0000 \\ 111:1111 \end{array} \right. \times \Rightarrow \begin{array}{l} 0001111 \\ 1110000 \end{array}$$

2. *Two-point crossover*. This operator uses two randomly chosen crossover points. Strings exchange the segment that falls between these two points:

$$\left\{ \begin{array}{l} 00:000:00 \\ 11:111:11 \end{array} \right. \times \Rightarrow \begin{array}{l} 0011100 \\ 1100011 \end{array}$$

3. *Uniform crossover*. Each gene in the offspring is created by copying the corresponding gene from one or the other parent, chosen according to a randomly generated crossover mask. Where there is a 1 in the crossover mask, the gene is copied from the first parent, and where there is a 0 in the mask, the gene is copied from the second parent. A new crossover mask is randomly generated for each pair of parents.

mask	1001011
parent 1	0000000
	↓ ↓ ↓↓
offspring	0110100
	↑↑↑
parent 2	1111111

MUTATION

Mutation is applied to each child individually after crossover. It randomly alters each gene with a small probability (typically 0.001). Following example shows the third gene of the chromosome being mutated.

$$00:0:00 \Rightarrow 00:1:00$$

5 Experimental results

The stochastic tracker described in Section 3 was simulated. While simulating, we specify the two phases named “before” and “after” (before and after a parameter change). The phase “before” takes 300 time instants and phase “after” takes 3000 time instants. In totality, simulation parameters comprise:

1. Number of Iterations3000
2. Number of Samples to average results, L 20
3. Sample size, M 150
4. Numerical algorithms and their parameters:
 - (a) Robbins-Monroe procedure SSA
 - (b) Simplified Least Squares SLS
 - (c) Exponential smoothing parameter, α 0.5
5. Simulated genetic algorithm:
 - (a) Chromosome Length (bits) 7
 - (b) Power (size) of population, K 50
 - (c) Elite Factor 2
 - (d) Mutation Probability Rate 0.100
 - (e) Selection Mode Remainder stochastic sampling
 - (f) Crossover Mode Two-point crossover

Figures 2 to 5 demonstrate the experimentally observed results averaged over 100 program runs for the following tasks:

- (1) Determine the convergence of GA-estimates \hat{K}_p and \hat{K}_r for the plant and reference model (Fig. 2).
- (2) The same but in more detail for \hat{K}_p (Fig. 3).
- (3) Compare the cumulative integral percent error for the plant between SSA, SLS and GA (Fig. 4).
- (4) The same but for the reference model (Fig. 5).

As revealed by the graphs for the controlled plant, the settling time defined as the time required for the estimates to settle within the band of $\pm 7\%$ error, ranges up to 750 time instants, i.e., 5 samples of $M = 150$ readings needed to make a decision on updating the

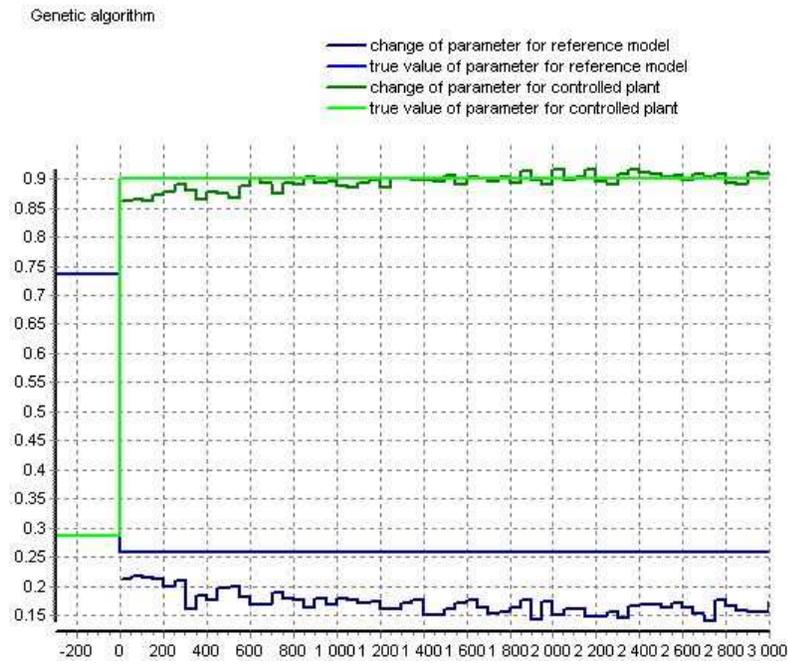


Рис. 2: Genetic algorithm performance: \hat{K}_p and \hat{K}_r .

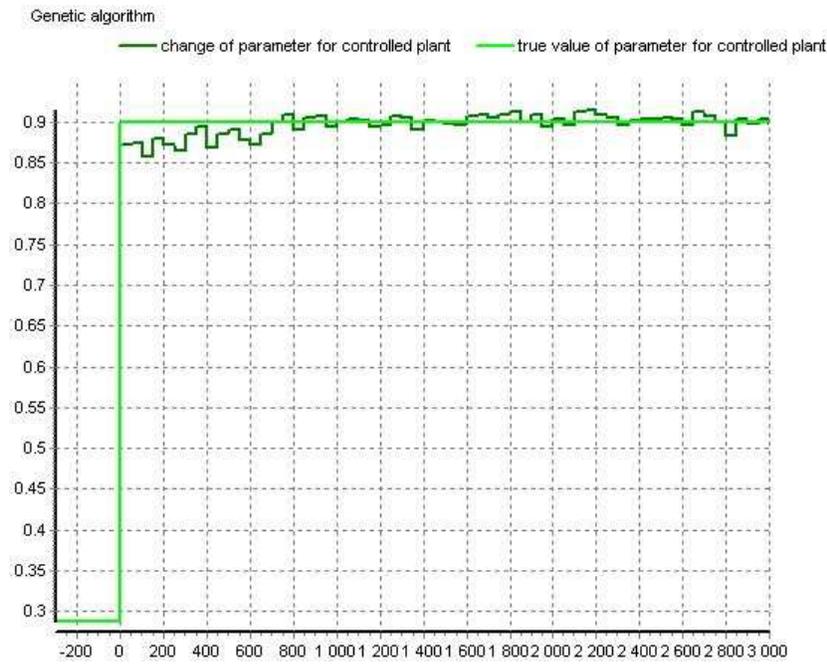


Рис. 3: Genetic algorithm performance: \hat{K}_p .

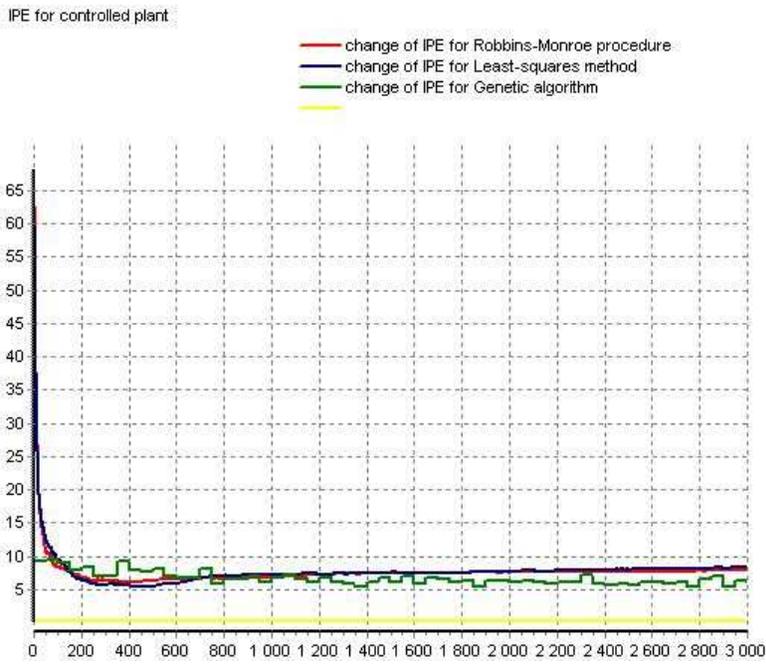


Рис. 4: Integral Percent Error for the controlled plant. Comparison of three methods: SSA, SLS, GA.

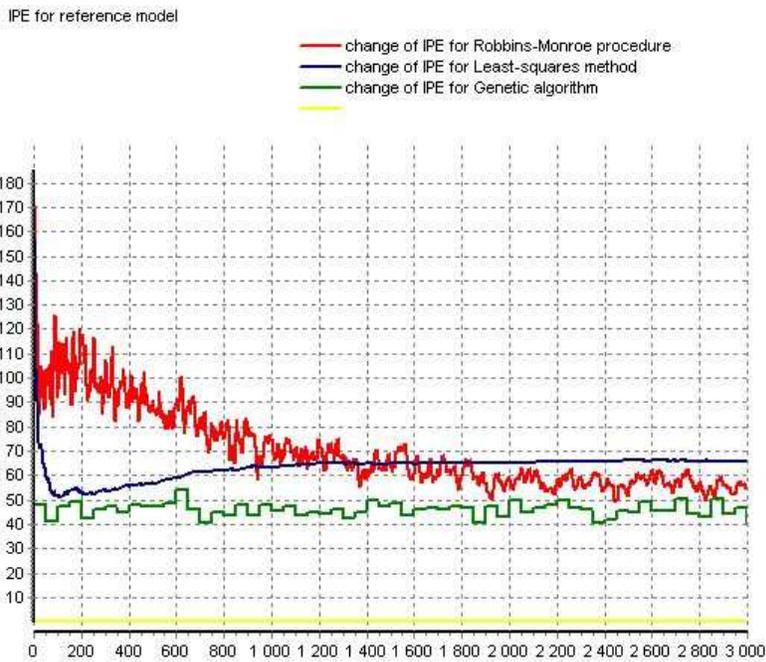


Рис. 5: Integral Percent Error for the reference signal model. Comparison of SSA, SLS and GA.

filter population. In another way, it has taken only 5 generations of \mathcal{FP} for the error to enter the band. However, another experiments show that this quantity may increase from 5 to 15.

According to simulation studies, GAs appear better capable for the closed loop, than for the open-loop, control systems re-design. Probably, this is due to the generic advantage of feedback systems to decrease the sensitivity of the system to parameter disturbances within the system.

6 Conclusions

In this paper, new data on the behavior of the Genetic Algorithms in the problem of open and closed loop stochastic control design optimization under uncertainties are reported.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Basseville, M. and Nikiforov, I. (1993). *Detection of Abrupt Changes: Theory and Applications*. Prentice-Hall, New York.
- [2] Blanke, M. (1999). Fault-tolerant control systems. In Frank, P. M., editor, *Advances in Control: Highlights of ECC'99*, pages 171–196, London. Springer. ISBN 1852331224.
- [3] Caines, P. E. (1988). *Linear Stochastic Systems*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [4] Deb, K. (2001). *Multi-objective Optimization using Evolutionary Algorithms*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [5] Grewal, M. S. and Andrews, A. P. (2001). *Kalman Filtering: Theory and Practice Using MATLAB*. John Wiley & Sons, Inc., New York, second edition. ISBN 0-471-26638-8.
- [6] Kristinsson, K. and Dumont, G. A. (1992). System identification and control using genetic algorithms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 22(5):1033–1046.
- [7] Maybeck, P. S. (1982). *Stochastic Models, Estimation and Control*, volume 3. Academic Press, New York.
- [8] Semoushin, I. (2003). Jointly performed computational tasks in the multi-mode system identification. In Sloot, P. M. A. et al., editors, *Computational Science – ICCS 2003, International Conference, Melbourne, Australia and St. Petersburg, Russia, June 2003, Proceedings, Part II*, volume 2658 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 407–416, Berlin Heidelberg New York. Springer. ISSN 0302-9743, ISBN 3-540-40195-4.

- [9] Semoushin, I. V. (1985). *Adaptive Identification and Fault Detection Methods in Random Signal Processing*. Saratov University Publishers, Saratov. [in Russian].
- [10] Semoushin, I. V. and Tsyganova, J. V. (2000). Indirect error control for adaptive filtering. In Neittaanmäki, P., Tiihonen, T., and Tarvainen, P., editors, *Numerical Mathematics and Advanced Applications, Proceedings of the 3rd European Conference ENUMATH99, 26–30 July 1999, Jyväskylä, Finland*, pages 333–340, Singapore. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. ISBN 981-02-4387-1.
- [11] Semoushin, I. V., Yurjev, A. D., and Sunoplya, M. S. (2004). A simple decision generator for detection/selection problems in linear stochastic systems. In Andreev, A. S., editor, *Notices of the Ulyanovsk State University*, volume 1(14) of *Fundamental Problems of Mathematics and Mechanics*, pages 167–185, Ulyanovsk, Russia. Ulyanovsk State University. Also available as 4th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering CD-ROM Proceedings, Volume II, 992.pdf. ISBN 951-39-1869-6.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Оглавление

Предисловие	3
МАТЕМАТИКА	5
МЕХАНИКА	6
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА	7
1 <i>Н. Г. Ярушкина, И. В. Семушин.</i> КОМПОНЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ INTERNET ИНТЕГРИРОВАННАЯ СРЕДА ДЛЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ЭФ- ФЕКТИВНОСТИ КРУПНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	9
1 Введение	9
2 Цели исследования	10
3 Методология	11
4 Описание технологии	16
5 Визуализация результата	16
6 Результаты	17
7 Преимущества WWW-экспресс-сервиса	17
8 Заключение	17
2 <i>М. В. Куликова.</i> ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ ГРАДИЕНТА ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ПРАВДОПОДОБИЯ С ПОМОЩЬЮ РАСШИРЕННОГО КВАДРАТНО-КОРНЕВОГО ИНФОРМАЦИОННОГО АЛГОРИТМА ФИЛЬТРАЦИИ	22
1 Введение	22
2 Постановка задачи	22
3 Алгоритм вычисления градиента логарифмической функции прав- доподобия	23
4 Вычислительные эксперименты	27
5 Заключение	29
3 <i>Maria Fedorova.</i> STOCHASTIC CONTROL ITERATED DESIGN OPTIMIZATION USING GENETIC ALGORITHMS	32
1 Introduction	32
2 Problem statement	32
3 Decision generator for detection	35
4 GA based filter selection	35
5 Experimental results	39
6 Conclusions	42

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ	44
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ	45

Научное издание

УЧЕННЫЕ ЗАПИСКИ
Ульяновского государственного университета

Серия

**Фундаментальные проблемы
математики и механики**

Вып. ?(??)

Под ред. академ. РАН, проф. *А. С. Андреева*
Стилевой \LaTeX -файл: проф. *И. В. Семушин*

Оригинал-макет изготовлен в системе $\text{\LaTeX}2\epsilon$.

Подписано в печать 22.11.2005
Формат 60×84/8. Бумага книжно-журнальная. Усл. печ. л. 13,11.
Уч.-изд. л. 7,32. Гарнитура Computer Modern.
Тираж 100 экз. Заказ № 167/317

Отпечатано с оригинал-макета в Лаборатории оперативной полиграфии
Ульяновского государственного университета
432970, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42.