

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н.Э. БАУМАНА

На правах рукописи

УДК 004.896

Чернышев Алексей Сергеевич

СПАЙКОВАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Специальность 05.13.18 —

«Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук
Карпенко Анатолий Павлович

Москва — 2017

Оглавление

	Стр.
Введение	4
Глава 1. Оформление различных элементов	6
1.1 Форматирование текста	6
1.2 Ссылки	6
1.3 Формулы	6
1.3.1 Ненумерованные одиночные формулы	6
1.3.2 Ненумерованные многострочные формулы	7
1.3.3 Нумерованные формулы	9
Глава 2. Регрессионный анализ многомерных временных рядов на основе динамической спайковой модели	10
2.1 Формальная постановка задачи	10
2.2 Модель динамической спайковой нейронной сети	10
2.2.1 Однослойная модель	10
2.2.2 Многослойная модель	11
2.3 Обучение модели	12
2.3.1 Модификация метода обратного распространение ошибки	12
2.3.2 Регулируемая обратная связь	13
Глава 3. Вёрстка таблиц	14
3.1 Таблица обыкновенная	14
3.2 Таблица с многострочными ячейками и примечанием	15
3.3 Параграф - два	16
3.4 Параграф с подпараграфами	16
3.4.1 Подпараграф - один	16
3.4.2 Подпараграф - два	16
Заключение	18
Список сокращений и условных обозначений	19

Словарь терминов	21
Список литературы	22
Список рисунков	26
Список таблиц	27
Приложение А. Примеры вставки листингов программного кода	28
Приложение Б. Очень длинное название второго приложения, в котором продемонстрирована работа с длинными таблицами	34
Б.1 Подраздел приложения	34
Б.2 Ещё один подраздел приложения	36
Б.3 Использование длинных таблиц с окружением <i>longtabu</i>	40
Б.4 Форматирование внутри таблиц	43
Б.5 Очередной подраздел приложения	45
Б.6 И ещё один подраздел приложения	46

Введение

Спайковые нейронные сети являются ярким, но до сих пор не признанным в кругах машинного обучения методом. Одним из немаловажных критериев работоспособности любого метода машинного обучения является простота модели. Этот критерий возникает не только по причине трудоемкости настраивания метода в условиях промышленной эксплуатации, но и из теоретических обоснований, которые говорят о большом риске переобучения модели.

Целью данной работы является найти баланс между необходимой биологической оправданностью и работоспособностью модели.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Исследовать основные направления современных нейробиологических трендов в области информационной обработки сигналов нейроном и синаптической пластичности в частности.
2. Рассмотреть свойства модели на основе обучения без учителя
3. Исследовать применимость модели в рамках конкретных задач машинного обучения
4. Рассмотреть свойства модели в условиях обучения с сигналом от учителя

Научная новизна:

1. Впервые выведено правило обучения нейронной модели которое имеет в своей основе как и биологическую оправданность так и многолетний опыт теории нейронных сетей в виде метода обратного распространения ошибки
2. Было выполнено оригинальное исследование рассматривающее применимость модели как на тестовых данных так и в условиях промышленной эксплуатации.

Практическая значимость работы наиболее выражена в области обработки дискретных сигналов. Спайковая нейронная сеть является моделью с высокой выразительностью и методы обучения представленные в данной работе позволяют применить модель в таких задачах как: классификация и регрессионный анализ временных рядов. Метод может быть применен как в батч режиме так и в реальном времени.

Методология и методы исследования включают в себя проведение компьютерных симуляций как на тестовых так и реальных данных.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Выведена взаимосвязь между методом обратного распространения ошибки и биологической модели синаптической пластичности
2. Рассмотрены факторы которые характеризуют биологический нейрон наиболее влияющие на качество модели
3. Выявлена целесообразность применения модели в условиях промышленной эксплуатации
4. Показано свойство масштабируемости модели

Достоверность полученных результатов обеспечивается рядом экспериментов. Результаты находятся в соответствии с результатами, полученными другими авторами.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на: конференции нейроинформатика 2016, 2017г.

Личный вклад. Автор принимал активное участие в работе со студентами на данную тематику.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в 6 печатных изданиях, 2 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 2 — в тезисах докладов.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и двух приложений. Полный объём диссертации составляет 46 страниц, включая 0 рисунков и 8 таблиц. Список литературы содержит 49 наименований.

Глава 1. Оформление различных элементов

1.1 Форматирование текста

Мы можем сделать **жирный текст** и *курсив*.

1.2 Ссылки

Сошлёмся на библиографию. Одна ссылка: [1, с. 54][2, с. 36]. Две ссылки: [1; 2]. Много ссылок: [3—5, с. 54] [3—19]. И ещё немного ссылок: [20—32]. [33—41]

Ссылки на собственные работы: [42; 43]

Сошлёмся на приложения: Приложение А, Приложение Б.2.

Сошлёмся на формулу: формула (1.2).

Сошлёмся на изображение: рисунок ??.

1.3 Формулы

Благодаря пакету *isotta*, ЛАТ_ЕX одинаково хорошо воспринимает в качестве десятичного разделителя и запятую (3,1415), и точку (3.1415).

1.3.1 Ненумерованные одиночные формулы

Вот так может выглядеть формула, которую необходимо вставить в строку по тексту: $x \approx \sin x$ при $x \rightarrow 0$.

А вот так выглядит нумерованная отдельностоящая формула с подстрочными и надстрочными индексами:

$$(x_1 + x_2)^2 = x_1^2 + 2x_1x_2 + x_2^2$$

При использовании дробей формулы могут получаться очень высокие:

$$\frac{1}{\sqrt{2} + \frac{1}{\sqrt{2} + \frac{1}{\sqrt{2} + \dots}}}$$

В формулах можно использовать греческие буквы:

$$\alpha\beta\gamma\delta\epsilon\zeta\eta\theta\vartheta\iota\kappa\lambda\mu\nu\xi\pi\varpi\rho\sigma\tau\nu\phi\varphi\chi\psi\omega\Gamma\Delta\Theta\Lambda\Xi\P\Sigma\Upsilon\Phi\Psi\Omega$$

Для красивых дробей (например, в индексах) можно добавить макрос `\slantfrac` и писать $\frac{1}{2}$ вместо $1/2$.

1.3.2 Ненумерованные многострочные формулы

Вот так можно написать две формулы, не нумеруя их, чтобы знаки равно были строго друг под другом:

$$\begin{aligned} f_W &= \min \left(1, \max \left(0, \frac{W_{soil}/W_{max}}{W_{crit}} \right) \right), \\ f_T &= \min \left(1, \max \left(0, \frac{T_s/T_{melt}}{T_{crit}} \right) \right), \end{aligned}$$

Выровнять систему ещё и по переменной x можно, используя окружение `alignedat` из пакета `amsmath`. Вот так:

$$|x| = \begin{cases} x, & \text{если } x \geq 0 \\ -x, & \text{если } x < 0 \end{cases}$$

Здесь первый амперсанд означает выравнивание по левому краю, второй — по x , а третий — по слову «если». Команда `\quad` делает большой горизонтальный пробел.

Ещё вариант:

$$|x| = \begin{cases} x, & \text{если } x \geq 0 \\ -x, & \text{если } x < 0 \end{cases}$$

Кроме того, для нумерованных формул `alignedat` делает вертикальное выравнивание номера формулы по центру формулы. Например, выравнивание компонент вектора:

$$\begin{aligned} \mathbf{N}_{on}^{(j)} = & \sin\phi n(n+1) \sin\theta \pi_n(\cos\theta) \frac{z_n^{(j)}(\rho)}{\rho} \hat{\mathbf{e}}_r + \\ & + \sin\phi \tau_n(\cos\theta) \frac{[\rho z_n^{(j)}(\rho)]'}{\rho} \hat{\mathbf{e}}_\theta + \\ & + \cos\phi \pi_n(\cos\theta) \frac{[\rho z_n^{(j)}(\rho)]'}{\rho} \hat{\mathbf{e}}_\phi. \end{aligned} \quad (1.1)$$

Ещё об отступах. Иногда для лучшей «читаемости» формул полезно немного исправить стандартные интервалы L^AT_EX_S учётом логической структуры самой формулы. Например в формуле 1.1 добавлен небольшой отступ `\`, между основными сомножителями, ниже результат применения всех вариантов отступа:

$$\begin{array}{ll} \backslash! & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \text{по-умолчанию} & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslash, & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslash: & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslash; & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslashspace & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslashquad & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslashqqquad & f(x) = x^2 + 3x + 2 \end{array}$$

Можно использовать разные математические алфавиты:

$$\begin{array}{c} \mathcal{A}\mathcal{B}\mathcal{C}\mathcal{D}\mathcal{E}\mathcal{F}\mathcal{G}\mathcal{H}\mathcal{I}\mathcal{J}\mathcal{K}\mathcal{L}\mathcal{M}\mathcal{N}\mathcal{O}\mathcal{P}\mathcal{Q}\mathcal{R}\mathcal{S}\mathcal{T}\mathcal{U}\mathcal{V}\mathcal{W}\mathcal{X}\mathcal{Y}\mathcal{Z} \\ \mathfrak{A}\mathfrak{B}\mathfrak{C}\mathfrak{D}\mathfrak{E}\mathfrak{F}\mathfrak{G}\mathfrak{H}\mathfrak{I}\mathfrak{J}\mathfrak{K}\mathfrak{L}\mathfrak{M}\mathfrak{N}\mathfrak{O}\mathfrak{P}\mathfrak{Q}\mathfrak{R}\mathfrak{S}\mathfrak{T}\mathfrak{U}\mathfrak{V}\mathfrak{W}\mathfrak{X}\mathfrak{Y}\mathfrak{Z} \\ \mathsf{A}\mathsf{B}\mathsf{C}\mathsf{D}\mathsf{E}\mathsf{F}\mathsf{G}\mathsf{H}\mathsf{I}\mathsf{J}\mathsf{K}\mathsf{L}\mathsf{M}\mathsf{N}\mathsf{O}\mathsf{P}\mathsf{Q}\mathsf{R}\mathsf{S}\mathsf{T}\mathsf{U}\mathsf{V}\mathsf{W}\mathsf{X}\mathsf{Y}\mathsf{Z} \end{array}$$

Посмотрим на систему уравнений на примере аттрактора Лоренца:

$$\begin{cases} \dot{x} = \sigma(y - x) \\ \dot{y} = x(r - z) - y \\ \dot{z} = xy - bz \end{cases}$$

А для вёрстки матриц удобно использовать многоточия:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

1.3.3 Нумерованные формулы

А вот так пишется нумерованная формула:

$$e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n \quad (1.2)$$

Нумерованных формул может быть несколько:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k^2} = \frac{\pi^2}{6} \quad (1.3)$$

Впоследствии на формулы (1.2) и (1.3) можно ссылаться.

Сделать так, чтобы номер формулы стоял напротив средней строки, можно, используя окружение `multlined` (пакет `mathtools`) вместо `multline` внутри окружения `equation`. Вот так:

$$\begin{aligned} &1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + \dots + \\ &+ 50 + 51 + 52 + 53 + 54 + 55 + 56 + 57 + \dots + \\ &+ 96 + 97 + 98 + 99 + 100 = 5050 \end{aligned} \quad (1.4)$$

Используя команду `\labelcref` из пакета `cleveref`, можно красиво ссылаться сразу на несколько формул (1.2–1.4), даже перепутав порядок ссылок (`\labelcref{eq:equation1,eq:equation3,eq:equation2}`).

Глава 2. Регрессионный анализ многомерных временных рядов на основе динамической спайковой модели

2.1 Формальная постановка задачи

Рассмотрим наблюдаемый объект преобразующий входное воздействие $X(t) \in \mathbb{R}^{n_x}$ в выходное $Y(t) \in \mathbb{R}^{n_y}$. Формально можно представить это преобразование некоторым оператором f_0 :

$$Y(t) = f_0(X(t), h), \quad (2.1)$$

здесь выходной сигнал $Y(t)$ зависит от входного воздействия, $X(t)$ и набора параметров h которые недоступны непосредственному наблюдению.

Смоделируем описанную зависимость оператором f преобразующим входное воздействие $X(t)$ в моделируемое выходное $Y_M(t)$:

$$Y_M(t) = f(X(t), \theta), \quad (2.2)$$

где θ – набор параметров который определяется на основе алгоритмов описанных в работе.

Для оценки соответствия модели объекту введем квадратичную функцию невязки

$$C_{int}(Y, Y_M, \theta) = \int_0^T (Y(t) - Y_M(t, \theta))^2 dt \quad (2.3)$$

где T – время жизни наблюдаемого объекта.

2.2 Модель динамической спайковой нейронной сети

2.2.1 Однослойная модель

В качестве базовой модели для решения поставленной задачи рассмотрим пороговый интегратор (*Integrate and fire* [44]). Уравнение динамики задается

ДУ

$$\tau_{mem} \frac{dU}{dt} = -U(t) + WI(t), \quad (2.4)$$

где $U(t) \in \mathbb{R}^n$, мембрана нейронной популяции размера n , $I(t) \in \mathbb{R}^m$ приложенный ток, рассматриваемый как входной сигнал приложенный к системе с целью получить отклик $U(t)$, W – матрица $n \times m$, обозначающая веса нейронной популяции, которые формируют линейное преобразование приложенного тока $I(t)$. Параметр τ_{mem} обозначает временную константу интегратора (RC параметр апериодического звена [45]). Отклик нейронной популяции $U(t)$ проходит нелинейное преобразование функцией активации

$$A(t) = F_{act}(U(t)), \quad (2.5)$$

здесь F_{act} – функция активации, $A(t)$ обозначает интенсивность негомогенного Пуассоновского процесса, реализация которого характеризует появления событий-спайков в нейронной популяции, которые можно представить в виде импульсной формы сигнала, или сумм дельта-функций

$$S(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{T_i} \delta(t - t_j^{f_i}). \quad (2.6)$$

где $T_i = t_1^{f_i}, t_2^{f_i}, \dots, t_k^{f_i}$ множество времен всех произведенных спайков i -ым нейроном из популяции.

Рассматривая приложенный ток $I(t)$ как вход $X(t)$ и моделируемый сигнал $S(t)$, как целевой $Y(t)$, решение задачи регрессии сводится к задаче оптимизации параметров модели W :

$$\min_{W \in \mathbb{R}^{m \times n}} C_{int}(W) = C_{int}(W^*), \quad (2.7)$$

где W^* – оптимальный набор параметров.

2.2.2 Многослойная модель

Аналогично многослойному персептрону, можно произвести масштабирование модели на несколько слоёв. В модели из l слоёв, i -ый слой можно описать ДУ

$$\tau_{mem} \frac{dU_i}{dt} = -U_i(t) + W_i I_i(t), \quad i \in [1, l], \quad (2.8)$$

здесь U_i – мембрана нейронной популяции слоя i . Для первого слоя $I_1(t)$ рассматривается как вход $X(t)$, а для слоя $i \in [2, l]$ приложенный ток выражается сглаженной активностью предыдущего слоя $I_i(t) = \hat{S}_{i-1}(t)$. Сглаживание произведено низкочастотным синаптическим фильтром

$$\hat{S}_i(t) = \int_0^T S_i(t') \exp\left(-\frac{t-t'}{\tau_{syn}}\right) dt' = \sum_{f_i} \exp\left(-\frac{t-t^{f_i}}{\tau_{syn}}\right), \quad (2.9)$$

здесь $S_i(t)$ реализация процесса i -ого слоя популяции, τ_{syn} синаптическая константа. Каждый слой задается размером популяции и матрицы W_1, W_2, \dots, W_l имеют соответствующие им размерности.

2.3 Обучение модели

2.3.1 Модификация метода обратного распространение ошибки

Модель описанная в (2.8) несет в себе нелинейность в виде функции активации (2.5), также реализация активности нейрона в виде Пуассоновского процесса несет в себе разрывную функцию, в итоге прямую формулировку частной производной относительно параметров модели вывести невозможно. Однако, усреднив активность нейрона низкочастотным фильтром информацию о градиенте можно будет получить, и передать другим слоям нейронной сети.

Таким образом, для квадратичной функции невязки (2.3) можно определить приближенное онлайн вычисление

$$C(t) = \int_0^T (Y(t-t') - Y_M(t-t', \theta))^2 f_l(t') dt' \quad (2.10)$$

используя обработку низкочастотным фильтром

$$f_l(t) = \exp\left(-\frac{t}{\tau_l}\right), \quad (2.11)$$

где τ_l – параметр фильтра.

Посчитанная онлайн функция невязки позволяет найти частную производную для параметров последнего слоя (классическое дельта-правило [46])

$$\Delta W_l = \frac{\partial C(t)}{\partial u_l(t)} = -\hat{S}_{l-1}(t) \odot (\hat{S}_l(t) - y(t)), \quad (2.12)$$

где \odot – внешнее произведение, $\hat{S}_l(t)$ активность слоя l , обработанная синаптическим фильтром (2.9).

Для скрытых слоев можно применить логику аналогичную правилу обратного распространения ошибки [47]:

$$\delta u_i(t) = \frac{\partial C(t)}{\partial u_i(t)} = (W_{i+1} \delta u_{i+1}) \otimes F'_{act}(u_i(t)) \quad (2.13)$$

$$\Delta W_i = -\delta u_i(t) \odot I_i(t), \quad (2.14)$$

здесь \otimes означает поэлементное умножение.

2.3.2 Регулируемая обратная связь

Как видно из результатов [48] для работы правило обучения, достаточно заменить матрицу W_{i+1} из (2.13) на случайную матрицу B_i , при этом исследование [49] показало, что и второй множитель этой матрицы можно заменить, на уровень ошибки $C(t)$, получая таким образом

$$\delta u_i(t) = \frac{\partial C(t)}{\partial u_i(t)} = (B_i C(t)) \otimes F'_{act}(u_i(t)). \quad (2.15)$$

Глава 3. Вёрстка таблиц

3.1 Таблица обыкновенная

Так размещается таблица:

Таблица 1 — Название таблицы

Месяц	T_{min} , К	T_{max} , К	$(T_{max} - T_{min})$, К
Декабрь	253.575	257.778	4.203
Январь	262.431	263.214	0.783
Февраль	261.184	260.381	−0.803

Таблица 2

Оконная функция	$2N$	$4N$	$8N$
Прямоугольное	8.72	8.77	8.77
Ханна	7.96	7.93	7.93
Хэмминга	8.72	8.77	8.77
Блэкмана	8.72	8.77	8.77

Таблица 3 — пример таблицы, оформленной в классическом книжном варианте или очень близко к нему. ГОСТу по сути не противоречит. Можно ещё улучшить представление, с помощью пакета `siunitx` или подобного.

Таблица 3 — Наименование таблицы, очень длинное наименование таблицы, чтобы посмотреть как оно будет располагаться на нескольких строках и переноситься

Оконная функция	$2N$	$4N$	$8N$
Прямоугольное	8.72	8.77	8.77
Ханна	7.96	7.93	7.93
Хэмминга	8.72	8.77	8.77
Блэкмана	8.72	8.77	8.77

3.2 Таблица с многострочными ячейками и примечанием

Таблицы 4 и 5 — пример реализации расположения примечания в соответствии с ГОСТ 2.105. Каждый вариант со своими достоинствами и недостатками. Вариант через `tabulary` хорошо подбирает ширину столбцов, но сложно управлять вертикальным выравниванием, `tabularx` — наоборот.

Таблица 4 — Нэ про натюм фюйзчыт квюальизквюэ

доминг лаборамюз эи ыам (Общий съём цен шляп (юфть))	Шеф взъярён	адвыр- жаряюм	тебиквюэ эльзэф- энд мэдиокре- татым	Чэнзэ- рет мны- жарк- хюм
Эй, жлоб! Где туз? Прячь юных съёмщиц в шкаф Плюш изъят. Бъём чуждый цен хвоц!	≈	≈	≈	+
Эх, чужак! Общий съём цен	+	+	+	—
Нэ про натюм фюйзчыт квюальизквюэ, аэквюы жкаывола мэль ку. Ад граэкйж пльбатонэм адвыржаряюм квуй, вим емпыдит коммюны ат, ат шэа одео	≈	—	—	—
Любя, съешь щипцы, — вздохнёт мэр, — кайф жгуч.	—	+	+	≈
Нэ про натюм фюйзчыт квюальизквюэ, аэквюы жкаывола мэль ку. Ад граэкйж пльбатонэм адвыржаряюм квуй, вим емпыдит коммюны ат, ат шэа одео квюаырэндум. Вёртюты ажжынтиор эффикеэнди эож нэ.	+	—	≈	—

Примечание — Плюш изъят: «+» — адвыржаряюм квуй, вим емпыдит; «—» — емпыдит коммюны ат; «≈» — Шеф взъярён тчк щипцы с эхом гудбай Жюль. Эй, жлоб! Где туз? Прячь юных съёмщиц в шкаф. Экс-граф?

Из-за того, что таблица 4 не помещается на той же странице (при компиляции pdf \LaTeX), всё её содержимое переносится на следующую, ближайшую, а этот текст идёт перед ней.

3.3 Параграф - два

Некоторый текст.

3.4 Параграф с подпараграфами

3.4.1 Подпараграф - один

Некоторый текст.

3.4.2 Подпараграф - два

Некоторый текст.

Таблица 5 — Любя, съешь щипцы, — вздохнёт мэр, — кайф жгуч

доминг лаборамюз эи ыам (Общий съём цен шляп (юфть))	Шеф взъярён	адвыр- жаряюм	тебиквюэ элььэеф- энд мэдио- крета- тым	Чэнзэрет мны- жарк- хюм
Эй, жлоб! Где туз? Прячь юных съёмщиц в шкаф Плюш изъят. Бъём чуждый цен хвоц!	≈	≈	≈	+
Эх, чужак! Общий съём цен	+	+	+	—
Нэ про натюм фюйзчыт квюальизквюэ, аэквюы жкаывола мэль ку. Ад граэкйж плььатонэм адвыржаряюм квуй, вим емпыдит коммюны ат, ат шэа одео	≈	—	—	—
Любя, съешь щипцы, — вздохнёт мэр, — кайф жгуч.	—	+	+	≈
Нэ про натюм фюйзчыт квюальизквюэ, аэквюы жкаывола мэль ку. Ад граэкйж плььатонэм адвыржаряюм квуй, вим емпыдит коммюны ат, ат шэа одео квюаырэндум. Вёртюты ажжынтиор эффикеэнди эож нэ.	+	—	≈	—

Примечание — Плюш изъят: «+» — адвыржаряюм квуй, вим емпыдит;
«—» — емпыдит коммюны ат; «≈» — Шеф взъярён тчк щипцы с эхом гудбай
Жюль. Эй, жлоб! Где туз? Прячь юных съёмщиц в шкаф. Экс-граф?

Заключение

Основные результаты работы заключаются в следующем.

1. На основе анализа ...
2. Численные исследования показали, что ...
3. Математическое моделирование показало ...
4. Для выполнения поставленных задач был создан ...

И какая-нибудь заключающая фраза.

Последний параграф может включать благодарности. В заключение автор выражает благодарность и большую признательность научному руководителю Иванову И.И. за поддержку, помощь, обсуждение результатов и научное руководство. Также автор благодарит Сидорова А.А. и Петрова Б.Б. за помощь в работе с образцами, Рабиновича В.В. за предоставленные образцы и обсуждение результатов, Занудятину Г.Г. и авторов шаблона *Russian-Phd-LaTeX-Dissertation-Template* за помощь в оформлении диссертации. Автор также благодарит много разных людей и всех, кто сделал настоящую работу автора возможной.

Список сокращений и условных обозначений

a_n	b_n	$\left. \begin{array}{l} a_n \\ b_n \end{array} \right\}$	коэффициенты разложения Ми в дальнем поле соответствующие электрическим и магнитным мультиполям
$\hat{\mathbf{e}}$			единичный вектор
E_0			амплитуда падающего поля
a_n	b_n	$\left. \begin{array}{l} a_n \\ b_n \end{array} \right\}$	коэффициенты разложения Ми в дальнем поле соответствующие электрическим и магнитным мультиполям ещё раз, но без окружения minirage нет вертикального выравнивания по центру.
j			тип функции Бесселя
k			волновой вектор падающей волны
			и снова коэффициенты разложения Ми в дальнем поле соответствующие электрическим и магнитным мультиполям, теперь окружение minirage есть и добавлено много текста, так что описание группы условных обозначений значительно превысило высоту этой группы... Для отбивки пришлось добавить дополнительные отступы.
L			общее число слоёв
l			номер слоя внутри стратифицированной сферы
λ			длина волны электромагнитного излучения в вакууме
n			порядок мультиполя
$\mathbf{N}_{e1n}^{(j)}$	$\mathbf{N}_{o1n}^{(j)}$	$\left. \begin{array}{l} \mathbf{N}_{e1n}^{(j)} \\ \mathbf{M}_{o1n}^{(j)} \end{array} \right\}$	сферические векторные гармоники
μ			магнитная проницаемость в вакууме
r, θ, ϕ			полярные координаты
ω			частота падающей волны
BEM			boundary element method, метод граничных элементов
CST MWS			Computer Simulation Technology Microwave Studio программа для компьютерного моделирования уравнений Максвелла
DDA			discrete dipole approximation, приближение дискретных диполей

FDFD	finite difference frequency domain, метод конечных разностей в частотной области
FDTD	finite difference time domain, метод конечных разностей во временной области
FEM	finite element method, метод конечных элементов
FIT	finite integration technique, метод конечных интегралов
FMM	fast multipole method, быстрый метод многополюсника
FVTD	finite volume time-domain, метод конечных объёмов во временной области
MLFMA	multilevel fast multipole algorithm, многоуровневый быстрый алгоритм многополюсника
MoM	method of moments, метод моментов
MSTM	multiple sphere T-Matrix, метод Т-матриц для множества сфер
PSTD	pseudospectral time domain method, псевдоспектральный метод во временной области
TLM	transmission line matrix method, метод матриц линий передач

Словарь терминов

TeX - Система компьютерной вёрстки, разработанная американским профессором информатики Дональдом Кнутом

Панграмма - Короткий текст, использующий все или почти все буквы алфавита

Список литературы

1. *Соколов А. Н., Сердобинцев К. С.* Гражданское общество: проблемы формирования и развития (философский и юридический аспекты): монография / под ред. В. М. Бочарова. — Астрахань : Калининградский ЮИ МВД России, 2009. — 218 с.
2. *Гайдаенко Т. А.* Маркетинговое управление: принципы управленческих решений и российская практика. — 3-е изд, перераб. и доп. — М. : Эксмо: МИРБИС, 2008. — 508 с.
3. *Лермонтов М. Ю.* Собрание сочинений: в 4 т. — М. : Терра-Кн. клуб, 2009. — 4 т.
4. Управление бизнесом: сборник статей. — Нижний новгород : Изд-во Нижегородского университета, 2009. — 243 с.
5. *Борозда И. В., Воронин Н. И., В. Б. А.* Лечение сочетанных повреждений таза. — Владивосток : Дальнаука, 2009. — 195 с.
6. Маркетинговые исследования в строительстве: учебное пособие для студентов специальности «Менеджмент организаций» / О. В. Михненко [и др.]. — М. : Государственный университет управления, 2005. — 59 с.
7. Конституция Российской Федерации: офиц. текст. — М. : Маркетинг, 2001. — 39 с.
8. Семейный кодекс Российской Федерации: [федер. закон: принят Гос. Думой 8 дек. 1995 г.: по состоянию на 3 янв. 2001 г.] — СПб. : Стаун-кантри, 2001. — 94 с.
9. ГОСТ Р 7.0.53-2007 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Издания. Международный стандартный книжный номер. Использование и издательское оформление. — М. : Стандартинформ, 2007. — 5 с.
10. *Разумовский В. А., Андреев Д. А.* Управление маркетинговыми исследованиями в регионе. — М., 2002. — 210 с. — Деп. в ИНИОН Рос. акад. наук 15.02.02, № 139876.

11. *Лагкуева И. В.* Особенности регулирования труда творческих работников театров: дис. ... канд. юрид. наук: 12.00.05. — М., 2009. — 168 с.
12. *Покровский А. В.* Устранимые особенности решений эллиптических уравнений: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.01.01. — М., 2008. — 178 с.
13. *Сиротко В. В.* Медико-социальные аспекты городского травматизма в современных условиях : автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.00.33. — М., 2006. — 26 с.
14. *Лукина В. А.* Творческая история «Записок охотника» И. С. Тургенева: автореф. дис. ... канд. филол. наук : 10.01.01. — СПб., 2006. — 26 с.
15. *Загорюев А. Л.* Методология и методы изучения военно-профессиональной направленности подростков: отчёт о НИР. — Екатеринбург, 2008. — 102 с.
16. Художественная энциклопедия зарубежного классического искусства [Электронный ресурс]. — М. : Большая Рос. энцикл., 1996. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
17. *Насырова Г. А.* Модели государственного регулирования страховой деятельности [Электронный ресурс] // Вестник Финансовой академии. — 2003. — № 4. — Режим доступа: [http://vestnik.fa.ru/4\(28\)2003/4.html](http://vestnik.fa.ru/4(28)2003/4.html).
18. *Берестова Т. Ф.* Поисковые инструменты библиотеки // Библиография. — 2006. — № 4. — С. 19.
19. *Кругер И.* Бумага терпит // Новая газета. — 2009. — 1 июля.
20. *Adams P.* The title of the work // The name of the journal. — 1993. — July. — Vol. 4, no. 2. — Pp. 201–213. — An optional note.
21. *Babington P.* The title of the work. Vol. 4. — 3rd ed. — The address : The name of the publisher, July 1993. — (10). — An optional note.
22. *Caxton P.* The title of the work. — The address of the publisher, July 1993. — An optional note. How it was published.
23. *Draper P.* The title of the work // The title of the book. Vol. 4 / ed. by T. editor. — The organization. The address of the publisher : The publisher, July 1993. — P. 213. — (5). — An optional note.
24. *Eston P.* The title of the work // Book title. Vol. 4. — 3rd ed. — The address of the publisher : The name of the publisher, July 1993. — Chap. 8. Pp. 201–213. — (5). — An optional note.

25. *Farindon P.* The title of the work // The title of the book. Vol. 4 / ed. by T. editor. — 3rd ed. — The address of the publisher : The name of the publisher, July 1993. — Chap. 8. Pp. 201–213. — (5). — An optional note.
26. *Gainsford P.* The title of the work / The organization. — 3rd ed. — The address of the publisher, July 1993. — An optional note.
27. *Harwood P.* The title of the work: MA thesis / Harwood Peter. — The address of the publisher : The school where the thesis was written, July 1993. — An optional note.
28. *Isley P.* The title of the work. — July 1993. — An optional note. How it was published.
29. *Joslin P.* The title of the work: PhD thesis / Joslin Peter. — The address of the publisher : The school where the thesis was written, July 1993. — An optional note.
30. The title of the work. Vol. 4 / ed. by P. Kidwelly. — The organization. The address of the publisher : The name of the publisher, July 1993. — (5). — An optional note.
31. *Lambert P.* The title of the work: tech. rep. / The institution that published. — The address of the publisher, July 1993. — No. 2. — An optional note.
32. *Marcheford P.* The title of the work. — July 1993. — An optional note.
33. *Медведев А. М.* Электронные компоненты и монтажные подложки [Электронный ресурс]. — 2006. — URL: http://www.kit-e.ru/articles/elcomp/2006%5C_12%5C_124.php (дата обр. 19.01.2015).
34. *Deiters U. K.* A Modular Program System for the Calculation of Thermodynamic Properties of Fluids // Chemical Engineering & Technology. — 2000. — Vol. 23, no. 7. — Pp. 581–584.
35. Deformation of Colloidal Crystals for Photonic Band Gap Tuning / Y.-S. Cho [et al.] // Journal of Dispersion Science and Technology. — 2011. — Vol. 32, no. 10. — Pp. 1408–1415.
36. Wafer bonding for microsystems technologies / U. Gösele [и др.] // Sensors and Actuators A: Physical. — 1999. — Т. 74, № 1–3. — С. 161–168.

37. *Li L., Guo Y., Zheng D.* Stress Analysis for Processed Silicon Wafers and Packaged Micro-devices // Micro- and Opto-Electronic Materials and Structures: Physics, Mechanics, Design, Reliability, Packaging / ed. by E. Suhir, Y. C. Lee, C. P. Wong. — Springer US, 2007. — B677–B709.
38. *Shoji S., Kikuchi H., Torigoe H.* Low-temperature anodic bonding using lithium aluminosilicate- β -quartz glass ceramic // Sensors and Actuators A: Physical. — 1998. — Т. 64, № 1. — С. 95–100. — Tenth {IEEE} International Workshop on Micro Electro Mechanical Systems.
39. Iterative denoising using Jensen-Renyi divergences with an application to unsupervised document categorization / D. Karakos [и др.] // Proceedings of ICASSP. — 2007. — URL: <http://cs.jhu.edu/~jason/papers/%5C#icassp07>.
40. *Pomerantz D. I.* Anodic bonding: patent no. 3397278 US. — 1968.
41. *Иофис Н. А.* Способ пайки керамики с керамикой и стекла с металлом: а. с. 126728 СССР. — 1960. — Бюл. № 5. 1.
42. *Фамилия И. О.* Название статьи // Журнал. — 2013. — Т. 1, № 5. — С. 100–120.
43. *Фамилия И. О.* название тезисов конференции // Название сборника. — 2015.
44. *Burkitt A. N.* A review of the integrate-and-fire neuron model: I. Homogeneous synaptic input // Biological cybernetics. — 2006. — Т. 95, № 1. — С. 1–19.
45. *Юревич Е.* Теория автоматического управления, 4 изд. — БХВ-Петербург, 2016.
46. *Jain L. C., Martin N.* Fusion of Neural Networks, Fuzzy Systems and Genetic Algorithms: Industrial Applications. Т. 4. — CRC press, 1998.
47. *Уоссермен Ф.* Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. — 1992.
48. Random feedback weights support learning in deep neural networks / Т. Р. Lillicrap [и др.] // arXiv preprint arXiv:1411.0247. — 2014.
49. *Nøklund A.* Direct Feedback Alignment Provides Learning in Deep Neural Networks // arXiv preprint arXiv:1609.01596. — 2016.

Список рисунков

Список таблиц

1	Название таблицы	14
2	14
3	Наименование таблицы, очень длинное наименование таблицы, чтобы посмотреть как оно будет располагаться на нескольких строках и переноситься	14
4	Нэ про натюм фюйзчит квюальизквюэ	15
5	Любя, съешь щипцы, — вздохнёт мэр, — кайф жгуч	17
6	Наименование таблицы средней длины	36
7	Тестовые функции для оптимизации, D — размерность. Для всех функций значение в точке глобального минимума равно нулю.	41
8	Длинная таблица с примером чересстрочного форматирования	44

Приложение А

Примеры вставки листингов программного кода

Для крупных листингов есть два способа. Первый красивый, но в нём могут быть проблемы с поддержкой кириллицы (у вас может встречаться в комментариях и печатаемых сообщениях), он представлен на листинге [A.1](#). Второй

Листинг A.1 Программа “Hello, world” на C++

```

5  #include <iostream>
    using namespace std;

    int main() //кириллица в комментариях при xelatex и luaLatex и
        мееет проблемы с пробелами
    {
        cout << "Hello, world" << endl; //latin letters in
            commentaries
        system("pause");
        return 0;
10 }

```

не такой красивый, но без ограничений (см. листинг [A.2](#)).

Листинг A.2 Программа “Hello, world” без подсветки

```

#include <iostream>
using namespace std;

int main() //кириллица в комментариях
{
    cout << "Привет, мир" << endl;
}

```

Можно использовать первый для вставки небольших фрагментов внутри текста, а второй для вставки полного кода в приложении, если таковое имеется.

Если нужно вставить совсем короткий пример кода (одна или две строки), то выделение линейками и нумерация может смотреться чересчур громоздко. В таких случаях можно использовать окружения `lstlisting` или `Verb` без

`ListingEnv`. Приведём такой пример с указанием языка программирования, отличного от заданного по умолчанию:

```
|fibs = 0 : 1 : zipWith (+) fibs (tail fibs)
```

Такое решение — со вставкой нумерованных листингов покрупнее и вставок без выделения для маленьких фрагментов — выбрано, например, в книге Эндрю Таненбаума и Тодда Остина по архитектуре

Наконец, для оформления идентификаторов внутри строк (функция `main` и тому подобное) используется `lstinline` или, самое простое, моноширинный текст (`\texttt`).

Пример [A.3](#), иллюстрирующий подключение переопределённого языка. Может быть полезным, если подсветка кода работает криво. Без дополнительного окружения, с подписью и ссылкой, реализованной встроенным средством.

Листинг A.3 Пример листинга с подписью собственными средствами

```
## Caching the Inverse of a Matrix

## Matrix inversion is usually a costly computation and there
## may be some
5 ## benefit to caching the inverse of a matrix rather than
## compute it repeatedly
## This is a pair of functions that cache the inverse of a
## matrix.

## makeCacheMatrix creates a special "matrix" object that can
## cache its inverse

10 makeCacheMatrix <- function(x = matrix()) {#кириллица в коммента
    риях при xelatex и lualatex имеет проблемы с пробелами
    i <- NULL
    set <- function(y) {
        x <- y
        i <- NULL
15 }
    get <- function() x
    setSolved <- function(solve) i <- solve
    getSolved <- function() i
    list(set = set, get = get,
20     setSolved = setSolved,
     getSolved = getSolved)
}
```

```

25  ## cacheSolve computes the inverse of the special "matrix"
    ## returned by
    ## makeCacheMatrix above. If the inverse has already been
    ## calculated (and the
    ## matrix has not changed), then the cachesolve should retrieve
    ## the inverse from
    ## the cache.
30
cacheSolve <- function(x, ...) {
    ## Return a matrix that is the inverse of 'x'
    i <- x$getSolved()
    if(!is.null(i)) {
35        message("getting cached data")
        return(i)
    }
    data <- x$get()
    i <- solve(data, ...)
40    x$setSolved(i)
    i
}

```

Листинг A.4 подгружается из внешнего файла. Приходится загружать без окружения дополнительного. Иначе по страницам не переносится.

Листинг A.4 Листинг из внешнего файла

```

# Analysis of data on Course Project at Getting and Cleaning
# data course of Data Science track at Coursera.

# Part 1. Merges the training and the test sets to create one
# data set.
5 # 3. Uses descriptive activity names to name the activities in
  # the data set
# 4. Appropriately labels the data set with descriptive variable
  # names.

if (!file.exists("UCI HAR Dataset")) {
    stop("You need 'UCI HAR Dataset' folder full of data")
10 }

library(plyr) # for mapvalues

```

```

15 #getting common data
features <- read.csv("UCI HAR Dataset/features.txt", sep=" ",
  header = FALSE,
                        colClasses = c("numeric", "character"))
activity_labels <- read.csv("UCI HAR Dataset/activity_labels.txt",
  ", sep=",
20                        header = FALSE, colClasses = c("
                        numeric", "character"))

#getting train set data
subject_train <- read.csv("UCI HAR Dataset/train/subject_train.
  txt",
                        header = FALSE, colClasses = "numeric",
                        col.names="Subject")
25 y_train <- read.csv("UCI HAR Dataset/train/y_train.txt", header
  = FALSE,
                        colClasses = "numeric")
x_train <- read.csv("UCI HAR Dataset/train/X_train.txt", sep="",
  header = FALSE,
                        colClasses = "numeric", col.names=features$V2
                        , check.names = FALSE)

30 activity_train <- as.data.frame(mapvalues(y_train$V1, from =
  activity_labels$V1,
                        to = activity_labels$
                        V2))
names(activity_train) <- "Activity"

35 #getting test set data
subject_test <- read.csv("UCI HAR Dataset/test/subject_test.txt"
  ,
                        header = FALSE, colClasses = "numeric",
                        col.names="Subject")
y_test <- read.csv("UCI HAR Dataset/test/y_test.txt", header =
  FALSE,
40                        colClasses = "numeric")
x_test <- read.csv("UCI HAR Dataset/test/X_test.txt", sep="",
  header = FALSE,
                        colClasses = "numeric", col.names=features$V2,
                        check.names = FALSE)

```

```

activity_test <- as.data.frame(mapvalues(y_test$V1, from =
  activity_labels$V1,
45                                     to = activity_labels$V2
                                     ))
names(activity_test) <- "Activity"

# Forming full dataframe
50 data_train <- cbind(x_train, subject_train, activity_train)
data_test <- cbind(x_test, subject_test, activity_test)
data <- rbind(data_train, data_test)

# Cleaning memory
55 rm(features, activity_labels, subject_train, y_train, x_train,
    activity_train,
    subject_test, y_test, x_test, activity_test, data_train, data
    _test)

# Part 2. Extracts only the measurements on the mean and
    standard deviation for each measurement.
60 cols2match <- grep("(mean|std)", names(data))

# Excluded gravityMean, tBodyAccMean, tBodyAccJerkMean,
    tBodyGyroMean,
# tBodyGyroJerkMean, as these represent derivations of angle
    data, as
65 # opposed to the original feature vector.

# Subsetting data frame, also moving last columns to be first
Subsetted_data_frame <- data[, c(562, 563, cols2match)]

70 # Part 5. From the data set in step 4, creates a second,
    independent tidy data set
# with the average of each variable for each activity and each
    subject.

library(dplyr) # for %>% and summarise_each
75

```



```
tidydata <- Subsetted_data_frame %>% group_by(Subject, Activity)
  %>%
    summarise_each(funs(mean))

write.table(tidydata, "tidydata.txt", row.names=FALSE)
```

Приложение Б

Очень длинное название второго приложения, в котором продемонстрирована работа с длинными таблицами

Б.1 Подраздел приложения

Вот размещается длинная таблица:

Параметр	Умолч.	Тип	Описание
&INP			
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)

продолжение следует

(продолжение)			
Параметр	Умолч.	Тип	Описание
mars	0	int	1: генерация белого шума
	1	int	2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars		0	int
	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
mars		0	int
	1	int	2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars		0	int
	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
mars		0	int
	1	int	2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars		0	int
	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
mars		0	int
	1	int	2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars		0	int
	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
mars		0	int
	1	int	2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars		0	int
	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
mars		0	int
	1	int	2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
&SURFPAR			
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
	mars	0	int
1		int	2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
	mars	0	int
1		int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
	mars	0	int
1		int	2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
	mars	0	int
1		int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
	mars	0	int
1		int	2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
	mars	0	int
1		int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
	mars	0	int
1		int	2: генерация белого шума симметрично относительно экватора

продолжение следует

продолжение следует

(продолжение)			
Параметр	Умолч.	Тип	Описание
mars kick	0	int	2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
	1	int	1: инициализация модели для планеты Марс 0: инициализация без шума ($p_s = const$)
mars kick	0	int	1: генерация белого шума
	1	int	2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars kick	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
mars kick	0	int	1: генерация белого шума
	1	int	2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars kick	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
mars kick	0	int	1: генерация белого шума
	1	int	2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс

Б.2 Ещё один подраздел приложения

Нужно больше подразделов приложения!

Пример длинной таблицы с записью продолжения по ГОСТ 2.105

Таблица 6 — Наименование таблицы средней длины

Параметр	Умолч.	Тип	Описание
&INP			
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
			1: генерация белого шума
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars kick	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
			1: генерация белого шума
mars kick			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
mars kick			1: генерация белого шума

Продолжение таблицы 6

Параметр	Умолч.	Тип	Описание
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
			1: генерация белого шума
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
			1: генерация белого шума
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
			1: генерация белого шума
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
			1: генерация белого шума
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
			1: генерация белого шума
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
			1: генерация белого шума
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
			1: генерация белого шума
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
			1: генерация белого шума
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$)
			1: генерация белого шума
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора

Продолжение таблицы 6

Параметр	Умолч.	Тип	Описание
			1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
&SURFPAR			
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора

Продолжение таблицы 6

Параметр	Умолч.	Тип	Описание
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс

Б.3 Использование длинных таблиц с окружением *longtabu*

В таблице 7 более книжный вариант длинной таблицы, используя окружение `longtabu` и разнообразные `toprule` `midrule` `bottomrule` из пакета `booktabs`. Чтобы визуально таблица смотрелась лучше, можно использовать следующие параметры: в самом начале задаётся расстояние между строчками с помощью `arraystretch`. Таблица задаётся на всю ширину, `longtabu` позволяет делить ширину колонок пропорционально — тут три колонки в пропорции 1.1:1:4 — для каждой колонки первый параметр в описании `X[]`. Кроме того, в таблице убраны отступы слева и справа с помощью `@{}` в преамбуле таблицы. К первому и второму столбцу применяется модификатор

`>\setlength{\baselineskip}{0.7\baselineskip}`,

который уменьшает межстрочный интервал в для текста таблиц (иначе заголовок второго столбца значительно шире, а двухстрочное имя сливается с окружающими). Для первой и второй колонки текст в ячейках выравнивается по центру как по вертикали, так и по горизонтали - задаётся буквами `m` и `c` в описании столбца `X[]`.

Так как формулы большие — используется окружение `alignedat`, чтобы отступ был одинаковый у всех формул — он сделан для всех, хотя для большей части можно было и не использовать. Чтобы формулы занимали поменьше места в каждом столбце формулы (где надо) используется `\textstyle` — он делает дроби меньше, у знаков суммы и произведения — индексы сбоку. Иногда формулы слишком большая, сливается со следующей, поэтому после неё ставится небольшой дополнительный отступ `\vspace*{2ex}`. Для штрафных функций — размер фигурных скобок задан вручную `\Big\{`, т.к. не умеет `alignedat` работать с `\left` и `\right` через несколько строк/колонок.

В примечании к таблице наоборот, окружение `cases` даёт слишком большие промежутки между вариантами, чтобы их уменьшить, в конце каждой строчки окружения использовался отрицательный дополнительный отступ `\[-0.5em]`.

Таблица 7 — Тестовые функции для оптимизации, D — размерность. Для всех функций значение в точке глобального минимума равно нулю.

Имя	Стартовый диапазон параметров	Функция
сфера	$[-100, 100]^D$	$f_1(x) = \sum_{i=1}^D x_i^2$
Schwefel 2.22	$[-10, 10]^D$	$f_2(x) = \sum_{i=1}^D x_i + \prod_{i=1}^D x_i $
Schwefel 1.2	$[-100, 100]^D$	$f_3(x) = \sum_{i=1}^D \left(\sum_{j=1}^i x_j \right)^2$
Schwefel 2.21	$[-100, 100]^D$	$f_4(x) = \max_i \{ x_i \}$
Rosenbrock	$[-30, 30]^D$	$f_5(x) = \sum_{i=1}^{D-1} \left[100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2 \right]$
ступенчатая	$[-100, 100]^D$	$f_6(x) = \sum_{i=1}^D \lfloor x_i + 0.5 \rfloor^2$
зашумлённая квартическая	$[-1.28, 1.28]^D$	$f_7(x) = \sum_{i=1}^D ix_i^4 + rand[0,1)$
Schwefel 2.26	$[-500, 500]^D$	$f_8(x) = \sum_{i=1}^D -x_i \sin \sqrt{ x_i } +$ $+ D \cdot 418.98288727243369$
Rastrigin	$[-5.12, 5.12]^D$	$f_9(x) = \sum_{i=1}^D [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$
Ackley	$[-32, 32]^D$	$f_{10}(x) = -20 \exp \left(-0.2 \sqrt{\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D x_i^2} \right) -$ $-\exp \left(\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \cos(2\pi x_i) \right) + 20 + e$
Griewank	$[-600, 600]^D$	$f_{11}(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^D x_i^2 - \prod_{i=1}^D \cos(x_i/\sqrt{i}) + 1$
штрафная 1	$[-50, 50]^D$	$f_{12}(x) = \frac{\pi}{D} \left\{ 10 \sin^2(\pi y_1) + \right.$ $\left. + \sum_{i=1}^{D-1} (y_i - 1)^2 [1 + 10 \sin^2(\pi y_{i+1})] + \right.$ $\left. + (y_D - 1)^2 \right\} + \sum_{i=1}^D u(x_i, 10, 100, 4)$

продолжение следует

(продолжение)

Имя	Стартовый диапазон параметров	Функция
штрафная 2	$[-50, 50]^D$	$f_{13}(x) = 0.1 \left\{ \sin^2(3\pi x_1) + \right.$ $+ \sum_{i=1}^{D-1} (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(3\pi x_{i+1})] +$ $+ (x_D - 1)^2 [1 + \sin^2(2\pi x_D)] \left. \right\} +$ $+ \sum_{i=1}^D u(x_i, 5, 100, 4)$
сфера	$[-100, 100]^D$	$f_1(x) = \sum_{i=1}^D x_i^2$
Schwefel 2.22	$[-10, 10]^D$	$f_2(x) = \sum_{i=1}^D x_i + \prod_{i=1}^D x_i $
Schwefel 1.2	$[-100, 100]^D$	$f_3(x) = \sum_{i=1}^D \left(\sum_{j=1}^i x_j \right)^2$
Schwefel 2.21	$[-100, 100]^D$	$f_4(x) = \max_i \{ x_i \}$
Rosenbrock	$[-30, 30]^D$	$f_5(x) = \sum_{i=1}^{D-1} \left[100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2 \right]$
ступенчатая	$[-100, 100]^D$	$f_6(x) = \sum_{i=1}^D \lfloor x_i + 0.5 \rfloor^2$
зашумлённая квартичная	$[-1.28, 1.28]^D$	$f_7(x) = \sum_{i=1}^D i x_i^4 + rand[0, 1)$
Schwefel 2.26	$[-500, 500]^D$	$f_8(x) = \sum_{i=1}^D -x_i \sin \sqrt{ x_i } +$ $+ D \cdot 418.98288727243369$
Rastrigin	$[-5.12, 5.12]^D$	$f_9(x) = \sum_{i=1}^D [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$
Ackley	$[-32, 32]^D$	$f_{10}(x) = -20 \exp \left(-0.2 \sqrt{\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D x_i^2} \right) -$ $- \exp \left(\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \cos(2\pi x_i) \right) + 20 + e$
Griewank	$[-600, 600]^D$	$f_{11}(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^D x_i^2 - \prod_{i=1}^D \cos(x_i / \sqrt{i}) + 1$

продолжение следует

(окончание)

Имя	Стартовый диапазон параметров	Функция
штрафная 1	$[-50, 50]^D$	$f_{12}(x) = \frac{\pi}{D} \left\{ 10 \sin^2(\pi y_1) + \right.$ $\left. + \sum_{i=1}^{D-1} (y_i - 1)^2 [1 + 10 \sin^2(\pi y_{i+1})] + \right.$ $\left. + (y_D - 1)^2 \right\} + \sum_{i=1}^D u(x_i, 10, 100, 4)$
штрафная 2	$[-50, 50]^D$	$f_{13}(x) = 0.1 \left\{ \sin^2(3\pi x_1) + \right.$ $\left. + \sum_{i=1}^{D-1} (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(3\pi x_{i+1})] + \right.$ $\left. + (x_D - 1)^2 [1 + \sin^2(2\pi x_D)] \right\} +$ $+ \sum_{i=1}^D u(x_i, 5, 100, 4)$
Примечание — Для функций f_{12} и f_{13} используется $y_i = 1 + \frac{1}{4}(x_i + 1)$ и $u(x_i, a, k, m) = \begin{cases} k(x_i - a)^m, & x_i > a \\ 0, & -a \leq x_i \leq a \\ k(-x_i - a)^m, & x_i < -a \end{cases}$		

Б.4 Форматирование внутри таблиц

В таблице 8 пример с чересстрочным форматированием. В `userstyles.tex` задаётся счётчик `\newcounter{rowcnt}` который увеличивается на 1 после каждой строчки (как указано в преамбуле таблицы). Кроме того, задаётся условный макрос `\altshape` который выдаёт одно из двух типов форматирования в зависимости от чётности счётчика.

В таблице 8 каждая чётная строчка — синяя, нечётная — с наклоном и слегка поднята вверх. Визуально это приводит к тому, что среднее значение и среднеквадратичное изменение группируются и хорошо выделяются взглядом в таблице. Сохраняется возможность отдельные значения в таблице выделить цветом или шрифтом. К первому и второму столбцу форматирование не при-

меняется по сути таблицы, к шестому общее форматирование не применяется для наглядности.

Так как заголовок таблицы тоже считается за строчку, то перед ним (для первого, промежуточного и финального варианта) счётчик обнуляется, а в \altshape для нулевого значения счётчика форматирования не применяется.

Таблица 8 — Длинная таблица с примером чересстрочного форматирования

	Итерации	JADE++	JADE	jDE	SaDE	DE/rand /1/bin	PSO
f1	1500	1.8E-60 (8.4E-60)	1.3E-54 (9.2E-54)	2.5E-28 (3.5E-28)	4.5E-20 (6.9E-20)	9.8E-14 (8.4E-14)	9.6E-42 (2.7E-41)
f2	2000	1.8E-25 (8.8E-25)	3.9E-22 (2.7E-21)	1.5E-23 (1.0E-23)	1.9E-14 (1.1E-14)	1.6E-09 (1.1E-09)	9.3E-21 (6.3E-20)
f3	5000	5.7E-61 (2.7E-60)	6.0E-87 (1.9E-86)	5.2E-14 (1.1E-13)	9.0E-37 (5.4E-36)	6.6E-11 (8.8E-11)	2.5E-19 (3.9E-19)
f4	5000	8.2E-24 (4.0E-23)	4.3E-66 (1.2E-65)	1.4E-15 (1.0E-15)	7.4E-11 (1.8E-10)	4.2E-01 (1.1E+00)	4.4E-14 (9.3E-14)
f5	3000	8.0E-02 (5.6E-01)	3.2E-01 (1.1E+00)	1.3E+01 (1.4E+01)	2.1E+01 (7.8E+00)	2.1E+00 (1.5E+00)	2.5E+01 (3.2E+01)
f6	100	2.9E+00 (1.2E+00)	5.6E+00 (1.6E+00)	1.0E+03 (2.2E+02)	9.3E+02 (1.8E+02)	4.7E+03 (1.1E+03)	4.5E+01 (2.4E+01)
f7	3000	6.4E-04 (2.5E-04)	6.8E-04 (2.5E-04)	3.3E-03 (8.5E-04)	4.8E-03 (1.2E-03)	4.7E-03 (1.2E-03)	2.5E-03 (1.4E-03)
f8	1000	3.3E-05 (2.3E-05)	7.1E+00 (2.8E+01)	7.9E-11 (1.3E-10)	4.7E+00 (3.3E+01)	5.9E+03 (1.1E+03)	2.4E+03 (6.7E+02)
f9	1000	1.0E-04 (6.0E-05)	1.4E-04 (6.5E-05)	1.5E-04 (2.0E-04)	1.2E-03 (6.5E-04)	1.8E+02 (1.3E+01)	5.2E+01 (1.6E+01)
f10	500	8.2E-10 (6.9E-10)	3.0E-09 (2.2E-09)	3.5E-04 (1.0E-04)	2.7E-03 (5.1E-04)	1.1E-01 (3.9E-02)	4.6E-01 (6.6E-01)
f11	500	9.9E-08 (6.0E-07)	2.0E-04 (1.4E-03)	1.9E-05 (5.8E-05)	7.8E-04 (1.2E-03)	2.0E-01 (1.1E-01)	1.3E-02 (1.7E-02)
f12	500	4.6E-17 (1.9E-16)	3.8E-16 (8.3E-16)	1.6E-07 (1.5E-07)	1.9E-05 (9.2E-06)	1.2E-02 (1.0E-02)	1.9E-01 (3.9E-01)
f13	500	2.0E-16 (6.5E-16)	1.2E-15 (2.8E-15)	1.5E-06 (9.8E-07)	6.1E-05 (2.0E-05)	7.5E-02 (3.8E-02)	2.9E-03 (4.8E-03)
f1	1500	1.8E-60 (8.4E-60)	1.3E-54 (9.2E-54)	2.5E-28 (3.5E-28)	4.5E-20 (6.9E-20)	9.8E-14 (8.4E-14)	9.6E-42 (2.7E-41)

продолжение следует

(окончание)

		Итерации	JADE++	JADE	jDE	SaDE	DE/rand /1/bin	PSO
f2	2000		1.8E-25 (8.8E-25)	3.9E-22 (2.7E-21)	1.5E-23 (1.0E-23)	1.9E-14 (1.1E-14)	1.6E-09 (1.1E-09)	9.3E-21 (6.3E-20)
f3	5000		5.7E-61 (2.7E-60)	6.0E-87 (1.9E-86)	5.2E-14 (1.1E-13)	9.0E-37 (5.4E-36)	6.6E-11 (8.8E-11)	2.5E-19 (3.9E-19)
f4	5000		8.2E-24 (4.0E-23)	4.3E-66 (1.2E-65)	1.4E-15 (1.0E-15)	7.4E-11 (1.8E-10)	4.2E-01 (1.1E+00)	4.4E-14 (9.3E-14)
f5	3000		8.0E-02 (5.6E-01)	3.2E-01 (1.1E+00)	1.3E+01 (1.4E+01)	2.1E+01 (7.8E+00)	2.1E+00 (1.5E+00)	2.5E+01 (3.2E+01)
f6	100		2.9E+00 (1.2E+00)	5.6E+00 (1.6E+00)	1.0E+03 (2.2E+02)	9.3E+02 (1.8E+02)	4.7E+03 (1.1E+03)	4.5E+01 (2.4E+01)
f7	3000		6.4E-04 (2.5E-04)	6.8E-04 (2.5E-04)	3.3E-03 (8.5E-04)	4.8E-03 (1.2E-03)	4.7E-03 (1.2E-03)	2.5E-03 (1.4E-03)
f8	1000		3.3E-05 (2.3E-05)	7.1E+00 (2.8E+01)	7.9E-11 (1.3E-10)	4.7E+00 (3.3E+01)	5.9E+03 (1.1E+03)	2.4E+03 (6.7E+02)
f9	1000		1.0E-04 (6.0E-05)	1.4E-04 (6.5E-05)	1.5E-04 (2.0E-04)	1.2E-03 (6.5E-04)	1.8E+02 (1.3E+01)	5.2E+01 (1.6E+01)
f10	500		8.2E-10 (6.9E-10)	3.0E-09 (2.2E-09)	3.5E-04 (1.0E-04)	2.7E-03 (5.1E-04)	1.1E-01 (3.9E-02)	4.6E-01 (6.6E-01)
f11	500		9.9E-08 (6.0E-07)	2.0E-04 (1.4E-03)	1.9E-05 (5.8E-05)	7.8E-04 (1.2E-03)	2.0E-01 (1.1E-01)	1.3E-02 (1.7E-02)
f12	500		4.6E-17 (1.9E-16)	3.8E-16 (8.3E-16)	1.6E-07 (1.5E-07)	1.9E-05 (9.2E-06)	1.2E-02 (1.0E-02)	1.9E-01 (3.9E-01)
f13	500		2.0E-16 (6.5E-16)	1.2E-15 (2.8E-15)	1.5E-06 (9.8E-07)	6.1E-05 (2.0E-05)	7.5E-02 (3.8E-02)	2.9E-03 (4.8E-03)

Б.5 Очередной подраздел приложения

Нужно больше подразделов приложения!

Б.6 И ещё один подраздел приложения

Нужно больше подразделов приложения!