

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 Обратное распространение ошибки | 12 |
| 2.3.2 Регулируемая обратная связь | 12 |
| 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 | 27 |
| Список таблиц | 28 |
| Приложение А. Примеры вставки листингов программного кода | 29 |
| Приложение Б. Очень длинное название второго приложения, в котором продемонстрирована работа с длинными таблицами | 35 |
| Б.1 Подраздел приложения | 35 |
| Б.2 Ещё один подраздел приложения | 37 |
| Б.3 Использование длинных таблиц с окружением <i>longtabu</i> | 40 |
| Б.4 Форматирование внутри таблиц | 44 |
| Б.5 Очередной подраздел приложения | 46 |
| 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 обучение 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 57 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 *isomta*, L^AT_EX 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 ненумерованная 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:

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

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:

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

Выводить 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:

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

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

$$\begin{aligned} \backslash! \quad & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \text{по-умолчанию} \quad & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslash, \quad & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslash: \quad & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslash; \quad & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslash\space \quad & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslash\quad \quad & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslash\quad\quad \quad & f(x) = x^2 + 3x + 2 \end{aligned}$$

Можно использовать разные математические алфавиты:

$ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ$
 $\mathfrak{ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ}$
 $\mathcal{ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ}$

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 пару многомерных временных рядов $x(t) \in \mathbb{R}^{n_x}, y(t) \in \mathbb{R}^{n_y}$, где n_x, n_y размерности $x(t), y(t)$, соответственно. Смоделировать временной ряд $y(t)$ на основе ряда $x(t)$, означает найти такую динамическую систему

$$\frac{dy'}{dt} = F(y'(t), x(t)), \quad (2.1)$$

что для данного начального условия y'_0 интегральная кривая $y'(t)$ динамической системы удовлетворяет условию

$$C_{int} = \int_0^T C(y(t), y'(t)) dt \rightarrow 0, \quad (2.2)$$

где $C(y'(t), y(t))$ функция ошибки обозначающая степень сходимости поиска модели. Поставим задачу моделирования временного ряда $y(t)$ на основе временного ряда $x(t)$ как задачу регрессионного анализа.

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

$$\tau_{mem} \frac{du}{dt} = -u(t) + WI(t), \quad (2.3)$$

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 аperiodического звена [45]). Отклик нейронной популяции $u(t)$ проходит нелинейное преобразование функцией активации

$$A(t) = F_{act}(u(t)), \quad (2.4)$$

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

$$S(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{f_i} \delta(t - t_j^{f_i}). \quad (2.5)$$

где $f_i = t_1^{f_i}, t_2^{f_i}, \dots, t_k^{f_i}$ 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 :

$$\min_W C_{int}. \quad (2.6)$$

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

$$\tau_{mem} \frac{du_i}{dt} = -u_i(t) + W_i I_i(t), \quad i \in [0, l], \quad (2.7)$$

где 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 $I_i(t) = S_{i-1}^s(t)$. Сглаживание произведено низкочастотным синаптическим фильтром

$$S_i^s(t) = \int_0^T S_i(t') \exp\left(-\frac{t-t'}{\tau_{syn}}\right) dt' = \sum_{f_i} \exp\left(-\frac{t-t^{f_i}}{\tau_{syn}}\right), \quad (2.8)$$

здесь 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 Обратное распространение ошибки

Ввиду наличие нелинейности в (2.4) и нарушение непрерывности в (2.5) оптимизация параметров подобных моделей всегда являлась довольно трудоемкой задачей. В некоторых работах в которых рассматривается правило обучения для однослойных спайковых нейронных сетей [46—48]. основным способом преодолеть проблемы связанные с нарушением непрерывности было введение фильтрации интересующих спайковых сигналов при помощи низкочастотного фильтра, что ко всему прочему, судя по работам связанным с тематикой *STDP* имеет довольно непосредственное отношение к биологическому механизму синаптической пластичности [49].

В случае квадратичной функции ошибки для матрицы последнего слоя правило обучения можно свести к классическому дельта-правилу [50]

$$\Delta W_l = -I_{l-1}(t) \otimes (\hat{S}_l(t) - y(t)), \quad (2.9)$$

где \otimes – внешнее произведение, а $\hat{S}_l(t)$ – активность слоя l , обработанная низкочастотным фильтром, аналогичным синаптическому (2.8), но с другой константой τ_l .

Для скрытых слоев можно применить логику аналогичную правилу обратного распространения ошибки [51]:

$$\delta u_i(t) = \frac{\partial C_t}{\partial u_t(t)} = (W_{i+1} \delta u_{i+1}) \odot F'_{act}(u_i(t)) \quad (2.10)$$

$$\Delta W_i = -\delta A_i(t) \otimes I_i(t), \quad (2.11)$$

здесь \odot означает поэлементное умножение.

2.3.2 Регулируемая обратная связь

Не смотря на то, что на сегодняшний день правило обратного распространения ошибки до сих является наиболее популярным и наиболее эффективным

методом обучения нейронных сетей, биологическая оправданность этого способа стоит под вопросом не менее давно [52—54].

Серия работ на тематику регулируемой обратной связи (*feedback alignment*) [55—57] открывает новые направления работ на тематику методов обучения равных по эффективности методу обратному распространению ошибки, но исключаящие наиболее ненатуральный момент в нём – необходимость обратного распространения информации в сети.

Как видно из результатов [55] для работы правило обучения, достаточно заменить матрицу W_{i+1} из (2.10) на случайную матрицу B_i , при этом работа [56] показала, что и второй множитель этой матрицы можно заменить, на уровень ошибки C_i , получая таким образом

$$\delta u_i(t) = \frac{\partial C_t}{\partial u_t(t)} = (B_i C_i(t)) \odot F'_{act}(u_i(t)). \quad (2.12)$$

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 мэдио- кретатым | 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 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?

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 | Чэнзэрет |
|---|----------------|------------------|--|----------------------|
| | | | элььэеф- энд мэдио- крета- тым | 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 плъьатонэм 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 плъьатонэм 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 | } коэффициенты разложения Ми в дальнем поле соответствующие электрическим и магнитным мультиполям |
| $\hat{\mathbf{e}}$ | | |
| E_0 | | единичный вектор |
| a_n | b_n | } амплитуда падающего поля |
| | | |
| a_n | b_n | } 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 добавленно много текста, так что описание группы условных обозначений значительно превысило высоту этой группы... Для отбивки пришлось добавить дополнительные отступы. |
| a_n | b_n | } коэффициенты разложения Ми в дальнем поле соответствующие электрическим и магнитным мультиполям, теперь окружение minirage есть и добавленно 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 |
| $\mathbf{N}_{e1n}^{(j)}$ | $\mathbf{N}_{o1n}^{(j)}$ | } сферические векторные гармоники |
| $\mathbf{M}_{o1n}^{(j)}$ | $\mathbf{M}_{e1n}^{(j)}$ | |
| 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 Кнудом

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. — T. 74, № 1—3. — C. 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. Span: Spike pattern association neuron for learning spatio-temporal spike patterns / A. Mohemmed [и др.] // International Journal of Neural Systems. — 2012. — Т. 22, № 04. — С. 1250012.
47. *Florian R. V.* Tempotron-like learning with ReSuMe // International Conference on Artificial Neural Networks. — Springer. 2008. — С. 368—375.
48. *Ponulak F.* ReSuMe-new supervised learning method for Spiking Neural Networks // Institute of Control and Information Engineering, Poznan University of Technology.(Available online at: <http://d1.cie.put.poznan.pl/~fp/research.html>). — 2005.
49. *Dan Y., Poo M.-m.* Spike timing-dependent plasticity of neural circuits // Neuron. — 2004. — Т. 44, № 1. — С. 23—30.

50. *Jain L. C., Martin N.* Fusion of Neural Networks, Fuzzy Systems and Genetic Algorithms: Industrial Applications. Т. 4. — CRC press, 1998.
51. *Уоссермен Ф.* Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. — 1992.
52. *Rumelhart D.* David E. Rumelhart, Geoffrey E. Hinton, and Ronald J. Williams // *Nature*. — 1986. — Т. 323. — С. 533—536.
53. *Grossberg S.* Competitive learning: From interactive activation to adaptive resonance // *Cognitive science*. — 1987. — Т. 11, № 1. — С. 23—63.
54. *Crick F.* The recent excitement about neural networks // *Nature*. — 1989. — Т. 337. — С. 129—132.
55. Random feedback weights support learning in deep neural networks / T. P. Lillicrap [и др.] // *arXiv preprint arXiv:1411.0247*. — 2014.
56. *Nøkland A.* Direct Feedback Alignment Provides Learning in Deep Neural Networks // *arXiv preprint arXiv:1609.01596*. — 2016.
57. *Liao Q., Leibo J. Z., Poggio T.* How Important is Weight Symmetry in Backpropagation? // *arXiv preprint arXiv:1510.05067*. — 2015.

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 | 37 |
| 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 | 45 |

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 [А.1](#). Второй не такой

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

```

#include <iostream>
using namespace std;

5  int main() //кириллица вкомментарияхпри  xelatex и lualatex
    имеетпроблемыспробелами
    {
        cout << "Hello, world" << endl; //latin letters in
            commentaries
        system("pause");
        return 0;
10 }

```

красивый, но без ограничений (см. листинг [А.2](#)).

Листинг А.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
  вкомментарияхпри xelatex и lualatex имеетпроблемыспробелами
  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 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 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 |
| &SURFPAR | | | |
| kick | 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 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 |

продолжение следует

| (продолжение) | | | |
|---------------|--------|-----|--|
| Параметр | Умолч. | Тип | Описание |
| | | | 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.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 | 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 |
|----------|--------|-----|---|
| | | | 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 |

Продолжение таблицы 6

| Параметр | Умолч. | Тип | Описание |
|----------|--------|-----|--|
| mars | 0 | int | 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора |
| kick | 1 | int | 1: инициализация модели для планеты Марс |
| | | | 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 |
| mars | 0 | int | 1: инициализация модели для планеты Марс |

Продолжение таблицы 6

| Параметр | Умолч. | Тип | Описание |
|----------|--------|-----|---|
| 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 |

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

та `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 выравниваются 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 | $[-100, 100]^D$ | $f_1(x) = \sum_{i=1}^D x_i^2$ |

продолжение следует

(продолжение)

| Имя | Стартовый диапазон параметров | Функция |
|---------------------------|-------------------------------------|--|
| 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 | $[-600, 600]^D$ | $f_{11}(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^D x_i^2 - \prod_{i=1}^D \cos(x_i/\sqrt{i}) + 1$ |
| 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 | $[-50, 50]^D$ | $f_{13}(x) = 0.1 \left\{ \sin^2(3\pi x_1) + \right.$ $\left. + \sum_{i=1}^{D-1} (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(3\pi x_{i+1})] + \right.$ $\left. + (x_D - 1)^2 [1 + \sin^2(2\pi x_D)] \right\} +$ $+ \sum_{i=1}^D u(x_i, 5, 100, 4)$ |

продолжение следует

(продолжение)

| 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 квартичная | $[-1.28, 1.28]^D$ | $f_7(x) = \sum_{i=1}^D ix_i^4 + rand[0,1)$ |
| 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

(окончание)

| Имя | Стартовый диапазон параметров | Функция |
|--|-------------------------------------|--|
| штрафная 2 | $[-50, 50]^D$ | $f_{13}(x) = 0.1 \left\{ \sin^2(3\pi x_1) + \right.$ $+ \sum_{i=1}^{D-1} (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(3\pi x_{i+1})] +$ $+ (x_D - 1)^2 [1 + \sin^2(2\pi x_D)] \left. \right\} +$ $+ \sum_{i=1}^D u(x_i, 5, 100, 4)$ |
| 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 применяется 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) |
| 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) |

продолжение следует

(окончание)

| Итерации | | JADE++ | JADE | jDE | SaDE | DE/rand /1/bin | PSO |
|----------|------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 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!