

Научная специальность 1.2.1. «Искусственный интеллект и машинное обучение»

Базовое машинное обучение

1. Постановка задачи машинного обучения. Регрессия, классификация. Мультиклассовая классификация. Один против одного, один против всех, их свойства.
2. Измерение качества классификации: accuracy, precision, recall, f1-score, ROC-AUC. Измерение качества регрессии: MSE, MAE, R2.
3. Оценка максимального правдоподобия. Ее связь с регрессией и классификацией.
4. Наивный байесовский классификатор.
5. Линейная регрессия. Постановка задачи для случая функции потерь MSE. Аналитическое решение. Теорема Гаусса-Маркова. Градиентный подход в линейной регрессии.
6. Регуляризация в линейных моделях: L1 и L2, их свойства. Вероятностная интерпретация.
7. Логистическая регрессия. Эквивалентность подхода MLE и минимизации логистических потерь.
8. Метод опорных векторов. Проблема оптимизации для SVM. Ядерный метод. Свойства ядра.
9. Анализ главных компонент. Связь с сингулярным разложением.
10. Методы кластеризации: иерархические методы, методы на основе плотности, разделяющий, метод K-средних.
11. Этапы разработки модели: обучение, валидация и тестирование. Проблема переобучения, способы ее обнаружения. Стратегия валидации, метод перекрестной проверки, утечка данных.
12. Процедура построения дерева решений. Информационные критерии. Энтропийные критерии, примесь Джини. Бутстрэп, бэггинг, метод случайного леса.
13. Бустинг и градиентный бустинг.
14. Искусственные нейронные сети. Обучение нейронной сети. Метод обратного распространения ошибки, цепное правило. Полносвязный слой (FC). Проблема XOR.

15. Функции потерь для нейронной сети: логистическая функция потерь, кросс-энтропия. Функции активации, их влияние на нейронную сеть, вычислительная сложность. Многопеременная логистическая функция (Softmax).
 16. Регуляризация в глубоком обучении: Dropout, Batch Normalization. Различия в этапах обучения и оценки.
 17. Средства ускорения и уменьшения моделей – дистилляция, прунинг, квантизация.
 18. Методы кластеризации: иерархические методы, методы на основе плотности, разделяющий, метод K-средних.
 19. Разметка данных. Активное обучение.
 20. Слабое обучение. Опосредованное обучение (distant supervision).
 21. Трансферное обучение. Переназначение модели с помощью выделения признаков (Feature extraction) или дообучения (Fine Tuning). Примеры использования в обработке изображений и текстов.
 22. Проблемы машинного обучения: дрейф данных, предвзятость моделей.
 23. Атаки на модели машинного обучения: состязательные атаки, отравление данных, атаки уклонения. Связь с проблемой переобучения.
- Обработка естественного языка**
24. Задача извлечения информации, распознавание именованных сущностей, разметка последовательностей.
 25. word2vec: skip-gram, negative sampling.
 26. Рекуррентные нейронные сети. LSTM/GRU, концепция памяти.
 27. Статистический машинный перевод, модель IBM Model 1, оценка качества перевода BLUE.
 28. Механизм внимания, Самовнимание. Архитектура Transformer. Архитектура BERT.
- Обучение с подкреплением**
29. Постановка задачи RL. Состояние, действие, вознаграждение, окружающая среда, действие. Функция значения, Q-функция.
 30. Q-обучение, приближенное Q-обучение, DQN, experience replay, двойной DQN, проблема автокорреляции.
 31. Policy gradient, A2C.

Computer Vision

32. Постановки задач компьютерного зрения: классификация, обнаружение, сегментация. Метрики в CV: IoU, mAP. Расстояние Кульбака — Лейблера. Связь с кроссэнтропией.
33. Матричная свертка. Сверточный слой, обратное распространение через него. Свертки 1x1, сравнение со слоями FC. Max/Average Pooling.
34. Архитектуры YOLO, MobileNet, U-Net, SegNet основные идеи.
35. Вариационный автоэнкодер: структура, функция потерь, процесс обучения.
36. Генеративно-сопоставительные сети: структура, функция потерь, процесс обучения.
37. Диффузионные модели.

Графовые нейронные сети

38. Постановки задач машинного обучения на графах. Классификация вершин, классификация графов, прогнозирование ребер. Представление графа и признаков вершин. Матрица смежности, список ребер, автоэнкодеры, структурные признаки.
39. Графовые нейронные сети. Графовые свертки. Примеры сверток: GCN, GIN, GAT. Отличие архитектур моделей для различных постановок задач на графах.

Математика ML

40. Центральная предельная теорема. Закон больших чисел.
41. Нулевая гипотеза. Уровень значимости. P-value. Ошибки 1-го и 2-рода.
42. Выбор статистических гипотез. Простые и сложные статистические гипотезы. Мощность статистического критерия. Наиболее мощный и равномерно наиболее мощный критерий.
43. T-критерий Стьюдента. U-критерий Манна-Уитни.
44. Интервальные оценки и доверительные интервалы. Понятия интервальной оценки и доверительного интервала.
45. Сравнение классификаторов. Критерий Уилкоксона. Проблемы использования статистической проверки гипотез.
46. Явление переобучения. PAC-обучаемость и агностическая PAC-обучаемость. Агностическая обучаемость конечных классов .
47. Размерность Вапника-Червоненкиса. Лемма Зауэра.

48. Методы оптимизации в глубоком обучении. Градиентный спуск, SGD, апгрейды: импульс, RMSProp, Adam.
49. Байесовский подход к теории вероятностей. Оценка параметров в байесовском и частотном подходе. Примеры байесовских рассуждений.
50. Сопряженные распределения. Примеры. Экспоненциальный класс распределений, его свойства.
51. Решение задачи выбора модели по Байесу. Обоснованность модели. Полный байесовский вывод.
52. Неопределенность в машинном обучении. Алеаторная и эпистемическая неопределенности. Методы оценки.
53. EM-алгоритм в общем виде. Примеры применения.

Технологии программирования

54. Системы управления базами данных. Понятия базы данных, системы баз данных и систем управления базами данных (СУБД). Требования к СУБД. Характеристики, функции СУБД. Модели данных. Реляционная, иерархическая, сетевая модели.
55. Реляционные СУБД. Реляционная модель данных. Язык SQL. Проектирование баз данных.
56. Архитектура систем информационного поиска. Векторные модели. Поисковые индексы. Ранжирование. Машинное обучение в информационном поиске.
57. Понятие виртуальной машины. Основные компоненты виртуальной машины. Гипервизоры первого и второго рода: функции и отличия. Контейнеризация и виртуализация.
58. Распределенные вычисления. Способы построения горизонтально масштабируемых систем: архитектура pub/sub, парадигма MapReduce, шардинг и балансировка нагрузки. Подходы shared everything и shared nothing.
59. Распределенные файловые системы, основные свойства (отказоустойчивость, распределение данных) на примере HDFS или Ceph.
60. Принципы построения распределенных СУБД. CAP-"теорема". Принципы BASE. Примеры распределенных СУБД каждого класса в соответствии с CAP-"теоремой".

Литература

- [1] The annotated transformer. URL: <http://nlp.seas.harvard.edu/2018/04/03/attention.html>.
- [2] Apache hadoop (hdfs, mapredce, etc). URL: <https://hadoop.apache.org/docs/stable/>.
- [3] Comparing different clustering algorithms on toy datasets. URL: https://scikit-learn.org/stable/auto_examples/cluster/plot_cluster_comparison.html.
- [4] Convolutional neural networks: Architectures, convolution / pooling layers. URL: <http://cs231n.github.io/convolutional-networks/>.
- [5] Cs231n notes on data preparation. URL: <http://cs231n.github.io/neural-networks-2/>.
- [6] Cs231n notes on gradient methods. URL: <http://cs231n.github.io/neural-networks-3/>.
- [7] Optimizers in pytorch, implementation and features of various optimization algorithms. URL: <https://pytorch.org/docs/stable/optim.html>.
- [8] Stanford notes on hackpropagation. URL: <http://cs231n.github.io/optimization-2/>.
- [9] Stanford notes on hackpropagation. URL: <http://cs231n.github.io/optimization-2/>.
- [10] Understanding and visualizing convolutional neural networks. URL: <http://cs231n.github.io/understanding-cnn/>.
- [11] Understanding Istm networks. URL: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>.
- [12] Word2vec tutorial - the skip-gram model. URL: <http://mccormickml.com/2016/04/19/word2vec-tutorial-the-skip-gram-model/>.
- [13] Курс лекций ИСП РАН основы обработки текстов. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=QnuLkiXKjc8&list=PL5cBzMoPJgCXFdSvWaun0y4cILirWHMD>.
- [14] Daniel Jurafsky and James H. Martin. 2008. Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics and Speech Recognition. Second Edition. Prentice Hall.
- [15] Christopher D. Manning and Hinrich Schütze. 1999. Foundations of Statistical Natural Language Processing. MIT Press.
- [16] Naveed Akhtar, Ajmal Mian, Navid Kardan, and Mubarak Shah. Advances in adversarial attacks and defenses in computer vision: A survey. *IEEE Access*, 9:155161-155196, 2021.

- [17] Jay Alammam. The illustrated bert, elmo, and co. (how nlp cracked transfer learning). URL: <http://jalammam.github.io/illustrated-bert/>.
- [18] Jay Alammam. The illustrated transformer. URL: <https://jalammam.github.io/illustrated-transformer/>.
- [19] Jay Alammam. The illustrated word2vec. URL: <http://jalammam.github.io/illustrated-word2vec/>.
- [20] Fadi AlMahamid and Katarina Grolinger. Reinforcement learning algorithms: An overview and classification. In *2021 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, pages 1-7. IEEE, 2021.
- [21] Pragati Baheti. A newbie-friendly guide to transfer learning. URL: <https://www.v71abs.com/blog/transfer-learning-guide>.
- [22] Junyi Chai, Hao Zeng, Anming Li, and Eric WT Ngai. Deep learning in computer vision: A critical review of emerging techniques and application scenarios. *Machine Learning with Applications*, 6:100134, 2021.
- [23] Yahui Chen. Convolutional neural network for sentence classification. Master's thesis, University of Waterloo, 2015.
- [24] Amir Dembo. Probability theory. URL: <https://web.stanford.edu/~montanar/TEACHING/Stat310A/Inotes.pdf>.
- [25] Nir Friedman. The bayesian structural em algorithm. *arXiv preprint arXiv:1301.7373*, 2013.
- [26] Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville. *Deep Learning*. MIT Press, 2016. <https://www.deeplearningbook.org>.
- [27] Peter J Green. Bayesian reconstructions from emission tomography data using a modified em algorithm. *IEEE transactions on medical imaging*, 9(1):84-93, 1990.
- [28] Amy Hodler. Drift in machine learning: How to identify issues before you have a problem. URL: <https://www.fiddler.ai/blog/drift-in-machine-learning-how-to-identify-issues-before-you-have-a-problem>.

- [29] Sergey Ioffe and Christian Szegedy. Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. In *International conference on machine learning*, pages 448-456. pmlr, 2015.
- [30] Justin Johnson. Derivatives, backpropagation, and vectorization. URL: <http://cs231n.stanford.edu/handouts/derivatives.pdf>.
- [31] Vladimir Koltchinskii. *Oracle inequalities in empirical risk minimization and sparse recovery problems: Ecole D'Ete de Probabilites de Saint-Flour XXXVIII-2008*, volume 2033. Springer Science & Business Media, 2011.
- [32] Rohit Kundu. Active learning in machine learning [guide examples]. URL: <https://www.v71abs.com/blog/active-learning-guide>.
- [33] Erik Learned-Miller. Vector, matrix, and tensor derivatives. URL: <http://cs231n.stanford.edu/vecDerivs.pdf>.
- [34] Kevin P. Murphy. *Probabilistic Machine Learning: An introduction*. MIT Press, 2022. URL <https://probml.github.io/pml-book/book1.html>.
- [35] Gregoire Preud'Homme, Kevin Duarte, Kevin Dalleau, Claire Lacomblez, Emmanuel Bresso, Malika Smail-Tabbone, Miguel Couceiro, Marie-Dominique Devignes, Masatake Kobayashi, Olivier Huttin, et al. Head-to-head comparison of clustering methods for heterogeneous data: a simulation-driven benchmark. *Scientific reports*, 11(1) :1—14, 2021.
- [36] Alexander Rakhlin and Karthik Sridharan. Statistical learning theory and sequential prediction. *Lecture Notes in University of Pennsylvania*, 44, 2012.
- [37] Sebastian Ruder. Transfer Learning - Machine Learning's Next Frontier, <http://ruder.io/transfer-learning/>, 2017.
- [38] Robert E Schapire. The strength of weak learnability. *Machine learning*, 5:197-227, 1990.
- [39] Shai Shalev-Shwartz and Shai Ben-David. *Understanding machine learning: From theory to algorithms*. Cambridge university press, 2014.
- [40] Michael E Tipping. Sparse bayesian learning and the relevance vector machine. *Journal of machine learning research*, 1 (Jun) :211-244, 2001.
- [41] Lena Voita. Word embeddings. URL: https://lena-voita.github.io/nlp_course/word_embeddings.html.
- [42] Lilian Weng. Policy gradient algorithms, a2c. URL: <https://lilianweng.github.io/posts/2018-04-08-policy-gradient/>.

- [43] Tom White. *Hadoop: The definitive guide*. "O'Reilly Media, Inc. 2012.
- [44] Сергей Артемьевич Айвазян, ВМ Бухштабер, ИС Енюков, and ЛД Мешалкин. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. Финансы и статистика. 1989.
- [45] Т Андерсон. Введение в многомерный статистический анализ. М.: *Физматгиз*, 500: 1, 1963.
- [46] ВМ Артемьев, АО Наумов, and ЛЛ Кохан. Обработка изображений в пассивных обзорно-поисковых оптико-электронных системах. 2014.
- [47] АВ Барский. Введение в нейронные сети: учебное пособие. Москва, Саратов: *Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа*, 357, 2020.
- [48] Александр Алексеевич Боровков. Математическая статистика. 2007.
- [49] ЕВ Боровская and НА Давыдова. Основы искусственного интеллекта: учебное пособие. Москва: *Лаборатория знаний*, 2020.
- [50] Леман Э. и Прохоров Ю. В. Проверка статистических гипотез. 1964.
- [51] Владимир Наумович Банник. *Восстановление зависимостей по эмпирическим данным*. Наука, 1979.
- [52] Владимир Наумович Вапник and Алексей Яковлевич Червоненкис. О равномерной сходимости частот появления событий к их вероятностям. *Теория вероятностей и ее применения*, 16(2), 1971.
- [53] ДП Ветров and ДА Кропотов. Байесовские методы машинного обучения. *Учебное пособие*. М, 2007.
- [54] ВВ Воронина, АВ Михеев, НГ Ярушкина, and КВ Святков. Теория и практика машинного обучения. 2017.
- [55] КВ Воронцов. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин). Москва, 2011.
- [56] Владимир Вьюгин. *Математические основы машинного обучения и прогнозирования*. Litres, 2022.
- [57] Кузнецов, С. Д. *Основы современных баз данных*. М: Центр Информационных Технологий, 1998.

- [59] Гектор Гарсиа-Молина, Джеффри Д Ульман, and Дженнифер Уидом. *Системы баз данных: Полный курс*. Вильямс, 2003.
- [60] Пётр Евгеньевич Гладилин and Клавдия Олеговна Боченина. Технологии машинного обучения. 2020.
- [61] Владимир Адамович Головки. Нейронные сети: обучение, организация и применение, 2001.
- [62] К Дж Дейт. *Введение в системы баз данных*. Вильямс, 2008.
- [63] Соколов Евгений. Лекции Евгения Соколова. URL <https://github.com/esokolov/ml-course-hse/tree/master/2021-fall/lecture-notes>.
- [64] ИС Енюков and ЛД Мешалкин. Прикладная статистика: Исследование зависимостей. 1985.
- [65] В А Епанечников. Непараметрическая оценка многомерной плотности вероятности. *Теория вероятностей и ее применения*, 14(1), 1969.
- [66] Сергей Михайлович Ермаков and Геннадий Алексеевич Михайлов. Курс статистического моделирования. 1976.
- [67] Николай Григорьевич Загоруйко. *Прикладные методы анализа данных и знаний*. 1999.
- [68] Юрий Алексеевич Загоруйко and Галина Борисовна Загоруйко. Искусственный интеллект. Инженерия знаний. 2019.
- [69] Григорий Иванович Ивченко and Юрий Иванович Медведев. *Математическая статистика: Учебное пособие*. Высш, шк, 1984.
- [70] М Кендалл, А Стьюарт, Л И Гальчук, and А Т Терехин. *Статистические выводы и связи: Пер. с англ*. Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1973.
- [71] Морис Кендалл and А Стюарт. Многомерный статистический анализ и временные ряды. 1976.
- [72] Гаральд Крамер. *Математические методы статистики*. Регулярная и хаотическая динамика, 2003.
- [73] Ян Лекун. *Как учится машина: Революция в области нейронных сетей и глубокого обучения*. Альпина Паблишер, 2021.
- [74] Роман Липовский. Курс лекций теория и практика многопоточной синхронизации. URL: https://www.youtube.com/playlist?list=PL4_hYwCuhAva371NnoMuBcKRELso5nvBm.

- [75] Роман Липовский. Курс лекций теория распределенных вычислений. URL: https://www.youtube.com/watch?v=wTvOEH4NaBc&list=PL-_cKNuVAYAUej_exbnxDb5ShFmiiik-chT.
- [76] Игорь Давидович Мандель. *Кластерный анализ*. Finansy i statistika, 1988.
- [77] Ольга Евгеньевна Масленникова and ИВ Гаврилова. Основы искусственного интеллекта. 2013.
- [78] АВ Мерков. Основные методы, применяемые для распознавания рукописного текста. *доступно по адресу <http://www.recognition.mscme.ru/pub/RecognitionLab.html/methods.html>*, 2004.
- [79] Нейчев. Лекции Нейчева, базовое машинное обучение. URL: https://www.youtube.com/watch?v=8s9073kNXgY&list=PL4_hYwCyhAvZyW6qS58x4uElZgAkMVUvj.
- [80] Нейчев. Лекции Нейчева, прикладное машинное. URL: https://www.youtube.com/watch?v=I9FF-3UAm4o&list=PL4_hYwCyhAvZeq93ssEUaR47xhvs7IhJM.
- [81] Синицин Ф Федотов С. Учебник по машинному обучению, школа анализа данных. URL: <https://academy.yandex.ru/handbook/ml>.
- [82] Петер Флах. *Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных*. Litres, 2022.
- [83] Ш Шалев-Шварц. Идеи машинного обучения: учебное пособие. *Текст: электронный//Лань: электронно-библиотечная система. —URL: <https://e.lanbook.com/book/131686> (дата обращения: 18.09. 2021)*.
- [84] АМ Шурыгин. Прикладная стохастика: робастность, оценивание, прогноз. М.: *Финансы и статистика*, 223, 2000.