



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Структурный анализ и визуализация сетей»
для направления 01.04.02 «Прикладная математика и информатика»
подготовки магистра для магистерской программы «Финансовые технологии и анализ данных»

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
"Национальный исследовательский университет
"Высшая школа экономики"**

Факультет Компьютерных наук

Департамент анализа данных и искусственного интеллекта

Программа дисциплины

Структурный анализ и визуализация сетей

для направления 01.04.02 «Прикладная математика и информатика»
подготовки магистра для магистерской программы «Финансовые технологии и анализ данных»

Разработчик(и) программы

Жуков Л. Е., Ph.D, профессор, lzhukov@hse.ru

Макаров И. А., старший преподаватель, iamakarov@hse.ru

Одобрена на заседании департамента анализа данных и искусственного интеллекта
«__» _____ 2018 г.

Руководитель департамента

Кузнецов С.О. _____

Утверждена Академическим советом образовательной программы «Финансовые
технологии и анализ данных»

«__» _____ 2018 г., № протокола _____

Академический руководитель образовательной программы

Масютин А. А. _____

Москва, 2018

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями
университета и другими вузами без разрешения подразделения-разработчика программы.*



1. Преподаватели

Автор, лектор: Жуков Л. Е., Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", департамент анализа данных и искусственного интеллекта, профессор

Семинарист, лектор: Макаров И. А., Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", департамент анализа данных и искусственного интеллекта, старший преподаватель

2. Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и результатам обучения студента и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину Научно-исследовательский семинар, учебных ассистентов и студентов направления подготовки 01.04.02, обучающихся по образовательной программе «Финансовые технологии и анализ данных».

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- Образовательным стандартом Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»;
- Образовательной программой «Финансовые технологии и анализ данных» для направления 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» подготовки магистра
- Объединенным учебным планом университета по направлению подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» образовательной программы «Финансовые технологии и анализ данных», утвержденным в 2017 г.

2. Аннотация

Курс «Структурный анализ и визуализация сетей» вводит студентов в новую и активно развивающуюся междисциплинарную область наук о сетевых структурах. Начиная с исследований социальных сетей социологами, данное направление привлекло внимание физиков, ученых в области компьютерных наук, экономистов, вычислительных биологов, лингвистов и других, и стало по-настоящему междисциплинарной областью изучения. Несмотря на разнообразие процессов, которые образуют сети, а также объекты и отношения, которые служат узлами и ребрами в этих сетях, все сети обладают общими статистическими и структурными свойствами. Взаимодействие между порядком и беспорядком создает сложные сетевые структуры, которые находятся в центре внимания исследования. В ходе курса мы рассмотрим методы статистического и структурного анализа сетей, модели формирования и эволюции сети, и развития процессов в сети. Особое внимание будет уделено практическому анализу и визуализации реальных сетей с использованием доступных программных средств, и современных языков и библиотек программирования.

4. Цели обучения

Целями обучения на курсе «Структурный анализ и визуализация сетей» являются



ознакомление учащихся с новой быстро развивающейся областью сетевых наук и предоставление практического опыта в анализе сетевых данных реального мира.

5. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплин

В результате изучения дисциплины «Структурный анализ и визуализация сетей» студенты должны:

- *знать* основные понятия и терминологию, используемые в науке о сетях;
- *понимать* основополагающие принципы сетевой структуры и эволюции;
- *уметь* разрабатывать математические модели сетевых процессов;
- *быть способными* анализировать сетевые данные реального мира.

В результате освоения дисциплины студент осваивает компетенции:

Компетенция	Код по ОС ВШЭ	Код (УС)	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
Способен рассуждать о разработанных методах.	СК-1	СК -М1	Студент способен рассуждать о разработанных математических методах в области сетей	Лекции и семинары, обсуждение в группах, презентации, рецензирование статей.
Способен создавать новые теории, изобретать новые способы и инструменты профессиональной деятельности.	СК -2	СК -М2	Студент способен улучшать и разрабатывать методы исследования линейной оптимизации, решения вычислительных задач и задач приближения.	Семинары, домашние задания.
Способен разрабатывать новые исследовательские методы, изменять научный и индустриальный профиль своей	СК -3	СК -М3	Студент получает необходимые знания о сетях, которые позволят разрабатывать новые методы в других областях	Домашние задания, рецензирование статей.



деятельности.				
Способен описывать задачи и проблемы профессиональной деятельности в терминах гуманитарных, экономических и социальных наук для решения проблем, которые появляются на стыке разных областей в прикладных профессиональных сферах.	ПК-5	ИС-М5.3_5.4_5.6_2.4.1	Студент способен описывать задачи на сетях в терминах вычислительной математики.	Лекции и семинары, обсуждение в группах, презентации, рецензирование статей.
Способен определять, передавать общие цели в профессиональной и социальной деятельности.	ПК-8	СПК -М3	Студент способен определять математические аспекты сетевых исследований, оценивать правильность использованных методов и их применения в каждой конкретной ситуации.	Обсуждение рецензий на статьи, cross discipline lectures

6. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Курс «Структурный анализ и визуализация сетей» преподается в течение первого года магистерской программы 01.04.02 «Финансовые технологии в анализе данных».

Пререквизиты

Курс основан на знаниях и понимании следующих дисциплин:

- Дискретная математика
- Алгоритмы и структуры данных
- Линейная алгебра



- Теория вероятностей и статистический анализ

Также требуются базовые навыки программирования на одном из языков:

- Python
- Matlab
- R

7. Тематический план учебной дисциплины

Одна пара состоит из 1-го академического часа для лекции и 1-го академического часа для семинара после лекции.

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы		Самостоятельная работа
			Лекции	Семинары	
1	Введение в науку о сетях	20	2	2	16
2	Степенной закон	18	4	2	12
3	Модели формирования сети	16	2	2	12
4	Анализ структуры, узлов и связей	24	2	6	16
5	Сообщества в сетях	24	2	6	16
6	Диффузия и эпидемии в сетях	22	4	4	14
7	Распространение влияния	18	4	2	12
8	Информационные каскады	16	2	2	12
9	Развитие сетей и предсказание связей	16	2	2	12
10	Визуализация сетей	16	2	2	12
	Всего	190	26	30	134



8. Критерии оценки знаний, навыков

Тип контроля	Форма контроля	Параметры		
		3	4	
Текущий	Проект	1		Проект по анализу социальной сети VK
	Промежуточный контроль	1		Письменная контрольная работа по материалам лекций
	Исследовательский проект		1	Самостоятельное моделирование и проверка результатов исследовательских работ
Итоговый	Экзаменационная работа		1	Письменный экзамен

Оценка состоит из двух проектов и промежуточного контроля в конце третьего модуля. Студенты должны продемонстрировать свои знания по каждой теме лекций, касающейся как теоретических фактов, так и практических задач. Все задачи проходят через всю дисциплину и усложняются в течение курса.

$$O_{\text{cumulative}} = 0,25 * O_{\text{project1}} + 0,25 * O_{\text{midterm}} + 0,5 * O_{\text{project2}}$$

Итоговая проверка проходит в виде итогового письменного экзамена. Студенты должны продемонстрировать знание теоретических фактов, но большинство задач будет оценивать их способность решать практические примеры, где студенты должны показать навыки быстрого решения базовых задач.

Формула оценивания:

Экзамен будет состоять из 10 задач, по 10 баллов за каждое, всего 100 баллов за экзамен. По завершении подготовительной части студенты представят свои заключительные проекты и защитят свои тезисы широкой аудитории. На защите проектов присутствуют приглашенные профессора.

Итоговая оценка по курсу вычисляется по следующей формуле:

$$O_{\text{final}} = 0,6 * O_{\text{cumulative}} + 0,4 * O_{\text{exam}}$$

Оценки округляются в пользу экзаменатора/лектора в соответствии с регулярностью посещаемости занятий и качества второго проекта. Все оценки, имеющие дробную часть больше 0,5, округляются в большую сторону.



Таблица соответствия оценок по десятибалльной и пятибалльной системе

По десятибалльной шкале	По пятибалльной системе	
1 – неудовлетворительно 2 – очень плохо 3 – плохо	неудовлетворительно – 2	Незачет
4 – удовлетворительно 5 – весьма удовлетворительно	удовлетворительно – 3	
6 – хорошо 7 – очень хорошо	хорошо – 4	Зачет
8 – почти отлично 9 – отлично 10 – блестяще	отлично – 5	

9. Содержание дисциплины

Следующий список описывает основные темы, которые рассматриваются в ходе лекций.

Тема 1. Введение в науку о сетях

Содержание:

Введение в новую науку о сетях. Теория сложных сетей. Основные свойства и метрики сетей. Примеры сетей.

Рекомендованная литература:

- Chapters 1-3 of Mark Newman. "Networks: An Introduction". Oxford University Press, 2010.
- Chapters 1,2 of David Easley and John Kleinberg. "Networks, Crowds, and Markets: Reasoning About a Highly Connected World." Cambridge University Press 2010.

Дополнительная литература:

- Albert-Laszlo Barabasi and Eric Bonabeau. Scale Free Networks. Scientific American, p 50-59, 2003
- Mark Newman. The physics of networks. Physics Today, 2008
- Stanley Milgram. The Small-World Problem. Psychology Today, Vol 1, No 1, pp 61-67, 1967
- J. Travers and S. Milgram. An Experimental Study of the Small World Problem. Sociometry, vol 32, No 4, pp 425-433, 1969
- Mark Granovetter. The strength of weak ties, American Journal of Sociology, 78(6):1360-1380, 1973.

Тема 2. Степенной закон

Содержание:

Распределение степенного закона. Scale-free сети. Распределение Парето, нормализация, моменты. Закон Зипфа. График частот.

Рекомендованная литература:

- Chapter 8 of Mark Newman. "Networks: An Introduction". Oxford University Press, 2010.
- Chapter 18 of David Easley and John Kleinberg. "Networks, Crowds, and Markets:



Reasoning About a Highly Connected World." Cambridge University Press 2010.

Дополнительная литература:

1. M. E. J. Newman. Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. *Contemporary Physics* 46(5), 323-351, 2005
2. Clauset, C.R. Shalizi, M.E.J. Newman. Power-law distributions in empirical data. *SIAM Review* 51(4), 661-703, 2009
3. M. Mitzenmacher. A brief history of generative models for power law and lognormal distributions. *Internet Mathematics*, vol 1, No. 2, pp. 226-251, 2004
4. M.L. Goldstein, S.A. Morris, and G.G. Yen. Problems with fitting to the power-law distribution, *Eur. Phys. J. B* 41, pp 255–258, 2004.

Тема 3. Модели формирования сетей

Содержание:

Модель случайного графа Эрдоса-Рени. Распределения Пуассона и Бернулли. Распределение степеней узлов. Фазовый переход, гигантский связанный компонент. Диаметр и коэффициент кластера. Модель конфигурации. Модель Барабаси-Альберта. Предпочтительное прикрепление. Уравнение в непрерывном приближении. Временная эволюция степеней узлов. Распределение степени узла. Средняя длина пути и коэффициент кластеризации. Модель малого мира. Модель Watts-Strogats. Переход от регулярного к случайному графу, изменения коэффициента кластеризации и средней длины пути.

Рекомендованная литература:

1. Chapters 12, 14 of Mark Newman. "Networks: An Introduction". Oxford University Press, 2010.
2. Chapter 20 of David Easley and John Kleinberg. "Networks, Crowds, and Markets: Reasoning About a Highly Connected World." Cambridge University Press 2010.

Дополнительная литература:

1. P. Erdos and A. Renyi. On random graphs I. *Publ. Math. Debrecen*, 1959.
2. P. Erdos and A. Renyi. On the evolution of random graphs. *Magyar Tud. Akad. Mat. Kutato Int. Koezl.*, 1960.
3. Duncan J. Watts and Steven H. Strogatz. Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature* 393:440-42, 1998.
4. AL Barabasi and R. Albert. Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, 286, 1999

Тема 4. Анализ структуры сетей, узлов и связей

Содержание:

Метрики центральности узлов, степенная центральность, центральность близости, betweenness центральность, eigenvector центральность. Метрики, основанные на структуре графа. PageRank, стохастическая метрика и теорема Перрона-Фробениуса. Итерации мощности. Центры и авторитеты. Алгоритм HITS. Ранговое расстояние Кендалл-Тау. Метрики структурной эквивалентности. Расстояния Евклида и Хемминга. Коэффициент



корреляции. Косинусное сходства. Ассортативное смешивание и гомофилия. Модульность. Смешивание по степеням.

Рекомендованная литература:

1. Chapter 7 of Mark Newman. "Networks: An Introduction". Oxford University Press, 2010.
2. Chapter 14 of David Easley and John Kleinberg. "Networks, Crowds, and Markets: Reasoning About a Highly Connected World." Cambridge University Press 2010.

Дополнительная литература:

1. Linton C. Freeman. Centrality in Social Networks. Conceptual Clarification. Social Networks, Vol 1, pp 215-239, 1978
2. Phillip Bonacich. Power and Centrality: A Family of Measures. American journal of sociology, Vol.92, pp 1170-1182, 1987.
3. S. Brin, L. Page. The PageRank Citation Ranknig: Bringing Order to the Web.
4. John M. Kleinberg. Authoritative Sources in a Hyperlinked Environment. Proc. 9th ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, 1998.
5. M. Newman. Mixing patterns in networks. Phys. Rev. E, Vol. 67, p 026126, 200

Тема 5. Сообщества в сетях

Содержание:

Сообщества в сетях. Плотность графа. Разделение графа. Показатели Min-cut, quotient и normalized cuts. Дивизионные и агломерационные алгоритмы. Повторяющееся деление пополам. Корреляционная матрица. Кластеризация. Edge Betweenness. Алгоритм Ньюмана-Гирвина. Спектральные методы. Алгоритм максимизации модульности (Newman). Аппроксимационные алгоритмы. Рандомизированный минимальный разрез (алгоритм Каргеса). Вероятность нахождения минимального разреза. Многоуровневая парадигма. Многоуровневый алгоритм для графов со степенным законом. Локальная кластеризация. Проводимость. Алгоритмы Nibble. Graph motifs, k-cores, перепись диад и триад.

Рекомендованная литература:

1. Chapter 11 of Mark Newman. "Networks: An Introduction". Oxford University Press, 2010.

Дополнительная литература:

1. M.E.J. Newman, M. Girvan. Finding and evaluating community structure in networks. Phys. Rev. E 69, 026113, 2004.
2. M.E.J. Newman. Modularity and community structure in networks. PNAS Vol. 103, N 23, pp 8577-8582, 2006
3. S. E. Schaeffer. Graph clustering. Comp. Sci. Rev., Vol. 1, p 27-64, 2007
4. D.R. Karger. Global min-cuts in RNC, and other ramifications of a simple min-cut algorithm. Proceedings SODA '93, p. 21-30, 1993
5. A. Abou-rjeili, G. Karypis. Multilevel algorithms for partitioning power-law graphs. In Proceedings IPDPS '06, p 10, 2006
6. G.Karypis and V. Kumar. A fast and high quality multilevel scheme for partitioning irregular graphs. SIAM J. on Sci. Comp., Vol. 20, p 359-392, 1998.
7. Daniel A. Spielman, Shang-Hua Teng. A Local Clustering Algorithm for Massive Graphs



- and Its Application to Nearly Linear Time Graph Partitioning. SIAM Journal on computing, Vol. 42, p. 1-26, 2013
8. R. Andersen, F. Chung, K. Lang. Local graph partitioning using pagerank vectors. In Proc. FOCS, 2006.
 9. S. Fortunato. Community detection in graphs . Physics Reports, Vol. 486, pp. 75-174, 2010
 10. V. Batagelj, M. Zaversnik. An O(m) Algorithms for Cores Decomposition of Networks. 2003
 11. L. da F. Costa, F. A. Rodrigues, et. al. Characterization of complex networks: A survey of measurements. Advances in Physics, Vol. 56, pp. 167-242, 2007
 12. R. Milo, S. Shen-Orr, S. Itzkovitz et al. Network motifs: simple building blocks of complex networks. Science 298 (5594): 824–827, 2002

Тема 6. Диффузия и эпидемии в сетях

Содержание:

Физическая диффузия. Уравнение диффузии. Диффузия в сетях. Дискретный оператор Лапласа, матрица Лапласа. Решение уравнения диффузии. Случайные блуждания по графу. Эпидемические модели SI, SIS, SIR. Решение дифференциального уравнения. Ограничивающие случаи. Моделирование распространения инфекции.

Рекомендованная литература:

1. Chapters 6, 17 of Mark Newman. "Networks: An Introduction". Oxford University Press, 2010.
2. Chapter 21 of David Easley and John Kleinberg. "Networks, Crowds, and Markets: Reasoning About a Highly Connected World." Cambridge University Press 2010.

Дополнительная литература:

1. Lovasz, L. Random walks on graphs: a survey. In Combinatorics, Paul Erdos is eighty. pp. 353 – 397. Budapest: Janos Bolyai Math. Soc., 1993
2. Chung, Fan R.K. Spectral graph theory (2ed.). Providence, RI: American Math. Soc., 1997
3. H.W. Hethcote. The Mathematics of Infections Diseases. SIAM Review, Vol. 42, No. 4, pp. 599-653, 2000
4. Matt. J. Keeling and Ken.T.D. Eames. Networks and Epidemics models Journal R. Soc. Interface, Vol 2, pp 295-307, 2005
5. G. Witten and G. Poulter Simulations of infections diseases on networks Computers in Biology and Medicine, Vol 37, No. 2, pp 195-205, 2007
6. M. Kuperman and G. Abramson Small World Effect in an Epidemiological Model., Phys. Rev. Lett., Vol 86, No 13, pp 2909-2912, 20

Тема 7. Распространение влияния

Содержание:

Социальная диффузия. Пороговая модель коллективного поведения Грановеттера. Наиболее влиятельные узлы в сети. Каскады в сетях. Базовая каскадная модель. Каскадная модель.



Рекомендованная литература:

1. Chapter 19 of David Easley and John Kleinberg. "Networks, Crowds, and Markets: Reasoning About a Highly Connected World." Cambridge University Press 2010.

Дополнительная литература:

1. Mark S. Granovetter. Threshold Models of Collective Behavior. American Journal of Sociology Vol. 83, No. 6, pp. 1420-1443, 1978.
2. H. Peyton Young. The Diffusion of Innovations in Social Networks. In L. E. Blume and S. N. Durlauf (eds.), The Economy as an Evolving Complex System III (2003)
3. D. Kempe, J. Kleinberg, E. Tardos. Maximizing the Spread of Influence through a Social Network. In Proc. KDD 2003.
4. D. Watts. A simple model of global cascades on random networks. Proc. Natl. Acad. Sci., vol. 99 no. 9, 5766-5771, 2002.
5. D. Kempe, J. Kleinberg, E. Tardos. Influential Nodes in a Diffusion Model for Social Networks. Lecture Notes in Computer Science, Eds C. Luis, I. Giuseppe et.al, 2005
6. S. Morris. Contagion. Review of Economic Studies 67, 57-78, 2000.
7. L. Backstrom, D. Huttenlocher, J. Kleinberg, X. Lan, Group Formation in Large Social Networks: Membership, Growth and Evolution, In Proc. KDD 2006.
8. J.L. Iribarren, E. Moro, Impact of Human Activity Patterns on the Dynamics of Information Diffusion, Phys. Rev. Letters, Vol 103, 038702, 2009
9. J. Leskovec, L. Adamic, B. Huberman, The Dynamics of Viral Marketing, EC 2006

Тема 8. Информационные каскады

Содержание:

Наблюдательное обучение. Информационные каскады.

Recommended reading:

1. Chapter 16 of David Easley and John Kleinberg. "Networks, Crowds, and Markets: Reasoning About a Highly Connected World." Cambridge University Press 2010.

Дополнительная литература:

1. Chapter 19 of David Easley and John Kleinberg. "Networks, Crowds, and Markets: Reasoning About a Highly Connected World." Cambridge University Press 2010.
2. A. V. Banerjee. A Simple Model of Herd Behavior. The Quarterly Journal of Economics, Vol. 107, No. 3, pp. 797-817, 1992.
3. S. Bikhchandani, D. Hirshleifer and I. Welch. A Theory of Fads, Fashion, Custom, and Cultural Change as Information Cascades. Journal of Political Economy. Vol. 100, pp. 992-1026, 1992.
4. S. Bikhchandani, D. Hirshleifer and I. Welch. Learning from the Behavior of Others: Conformity, Fads, and Informational Cascades
5. L. Anderson and C. Halt. Information Cascades in the Laboratory. The American Economic Review, Vol. 87, No. 5 (Dec., 1997), pp. 847-862
6. Pierre Lemieux. Following the Herd . Regulation, Winter 2003-2004



Тема 9. Развитие сетей и предсказание связей

Содержание:

Рост сети. Уменьшение диаметра. Взаимодействие связей. Задача предсказания связей. Обучение с учителем для предсказания.

Рекомендованная литература:

1. L. Backstrom, J. Leskovec. Supervised Random Walks: Predicting and Recommending Links in Social Networks. In Proc. WSDM, 2011
2. D. Liben-Nowell, J. Kleinberg. The Link Prediction Problem for Social Networks. Proc. CIKM, 2003.
3. J. Leskovec, L. Backstrom, R. Kumar, A. Tomkins. Microscopic Evolution of Social Networks. In Proc. KDD 2008.
4. J. Leskovec, J. Kleinberg, C. Faloutsos. Graph Evolution: Densification and Shrinking Diameters. ACM TKDD, 2007.

Дополнительная литература:

1. P. D'haeseleer, S. Liang, R. Somogyi. Genetic network inference: from co-expression clustering to reverse engineering. Bioinformatics, vol. 16, 2000.
2. G. Kossinets, D.J. Watts. Empirical Analysis of an Evolving Social Network. Science, 2006.
3. R. Kumar, J. Novak, A. Tomkins. Structure and evolution of online social networks. In Proc. KDD, 2006.

Тема 10. Визуализация сетей

Содержание:

Визуальное исследование. Графические схемы: радиальные, силовые, спектральные. Матричная визуализация.

Рекомендованная литература:

1. "Handbook of Graph Drawing and Visualization", Eds Roberto Tamassia, CRC Press, 2013
2. Brandes, Ulrik, and Dorothea Wagner. "Analysis and visualization of social networks." Graph drawing software. Springer Berlin Heidelberg, 2004. 321-340.
3. Nathalie Henry and Jean-daniel Fekete. "MatrixExplorer: a Dual-Representation System to Explore Social Networks, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2006. v12 , pp 677-684.

Дополнительная литература:

1. V. Batagelj and A. Mrvar. Pajek-analysis and visualization of large networks. Springer, 2003.
2. Bastian M., Heymann S., Jacomy M. (2009). Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. In Proc ICWSM 2009.
3. Henry, N.; Fekete, J.; McGuffin, M.J., "NodeTrix: a Hybrid Visualization of Social Networks," Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on , vol.13, no.6, pp.1302,1309



11. Образовательные технологии

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

- обсуждение и анализ результатов домашних задач в группе;
- индивидуальные методы обучения, которые зависят от прогресса каждого студента;
- анализ навыков для формулирования общей проблемы с точки зрения математики и ее решения.

Лекции проводятся с использованием онлайн-конференций.

12. Рекомендации для преподавателя курса

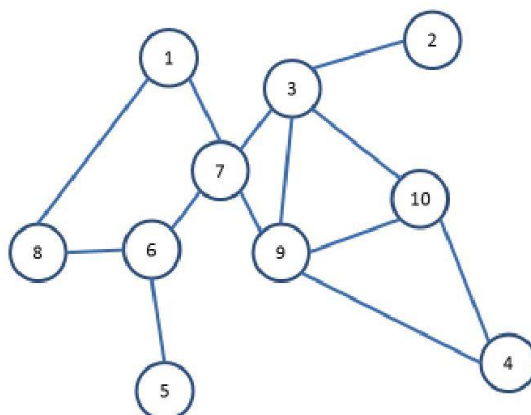
Преподавателю курса рекомендуется использовать интерактивные методы обучения, которые позволяют участвовать большинству студентов, такие как слайд-презентации, в сочетании с написанием материалов на доске и использованием интерактивных программных сред для демонстрационных целей. Курс должен быть адаптивным, но это нормально, если необходимо дифференцировать задачи в группе и направить быстрых учеников для решения более сложных задач.

13. Рекомендации для студентов

Курс является интерактивным. Лекции сочетаются с семинарами. Студентам предлагается задавать вопросы и активно участвовать в групповых обсуждениях. Для студентов есть специальные рабочие часы, когда они могут получить более точное понимание каждой темы. Учебный ассистент также помогает студентам. Все преподаватели готовы отвечать на вопросы онлайн по официальным электронным адресам, которые студенты могут найти в разделе «Контакты».

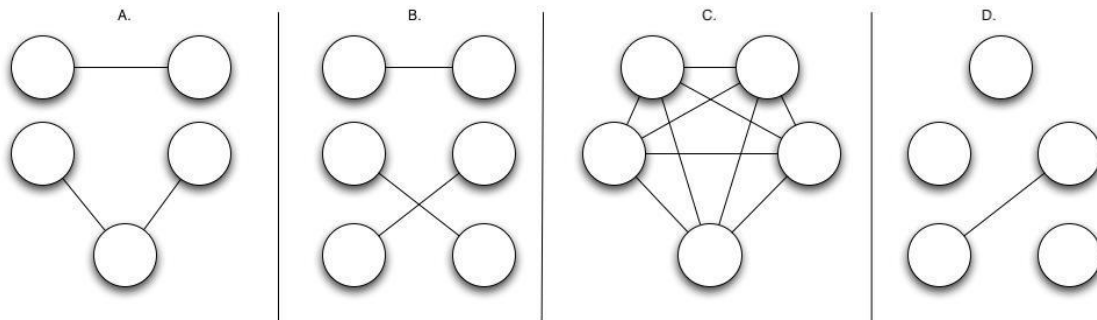
14. Примеры вопросов к экзамену

1. Некоторая социальная сеть имеет экспоненциальное распределение степеней вершин $P(k) = Ce^{-ak}$, где C и a – константы, a известно. Найдите долю сетевых узлов, у которых не более k_0 соседей. Используйте непрерывное приближение $k_{\min} = 0$, $k_{\max} = \infty$.
2. Рассмотрим случайное блуждание по неориентированному графу, приведенному ниже. Вычислите вероятность попадания в узел # 9 в пределе по времени.





3. Опишите закон Ципфа. Какова связь между распределениями закона Ципфа и степенного закона?
4. Вычислите распределение степени узла в модели Барабаси-Альберта с равномерной вероятностью прикрепления $P(k) = 1/(m_0 + T)$.
5. Какой из графов, представленных ниже, наиболее вероятно получен с помощью Ердос-Рени модели с параметрами $N=5$ и $p=0.3$ Почему? Какой граф не может быть сгенерирован этой моделью?



15. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

15.1. Основная литература

1. Mark Newman. "Networks: An Introduction". Oxford University Press, 2010.
2. David Easley and John Kleinberg. "Networks, Crowds, and Markets: Reasoning About a Highly Connected World." Cambridge University Press 2010.

15.2. Рекомендованная литература

1. Stanley Wasserman and Katherine Faust. "Social Network Analysis. Methods and Applications." Cambridge University Press, 1994
2. Matthew O. Jackson. "Social and Economic Networks". Princeton University Press, 2010.

15.3. Список обзорных статей

1. R. Albert and A-L. Barabasi. Statistical mechanics of complex networks. Rev. Mod. Phys, Vol. 74, p 47-97, 2002
2. M. E. J. Newman. The Structure and Function of Complex Networks. SIAM Review, Vol. 45, p 167-256, 2003
3. S. Boccaletti et al. Complex networks: Structure and dynamics. Phys. Reports, Vol. 424, p 175-308, 2006
4. S. N. Dorogovtsev and J. F. F. Mendes. Evolution of Networks. Adv. Phys. Vol. 51, N 4, p 1079-1187



15.2. Ресурсы

Все материалы дисциплины размещены на информационном образовательном сайте портала НИУ ВШЭ www.cs.hse.ru/ai. Студентам предоставляются ссылки на научные статьи, электронные книги, данные и программное обеспечение.

- [1] <http://www.leonidzhukov.net/hse/2015/networks/>
- [2] <https://github.com/ipython/ipython/wiki/A-gallery-of-interesting-IPython-Notebooks>
- [3] <https://snap.stanford.edu/data/>
- [4] <https://aws.amazon.com/ru/>
- [5] <https://youtu.be/tW4MQ3ntKGE> (студенческие презентации)
- [6] <https://www.youtube.com/playlist?list=PLriUvS7IjvkBLqU4nPOZtAkp7rgpxjg1>
(канал курса)

16. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Курс требует ноутбука, проектора и акустических систем.

Также требуется возможность установки программного обеспечения, такого как:

- Python
- Matlab
- R

на личные компьютеры студентов.

Лекционные материалы, структура курса и учебная программа подготовлены преподавателями департамента АД ИИ: Леонидом Жуковым и Ильей Макаровым.