

ИННОВАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА
Саратовского государственного университета им. Н.Г.Чернышевского

Примеры самоорганизации и образования структур в социальных и общественных системах

Факультет нелинейных процессов
Физика открытых нелинейных систем


2

О чем сегодняшняя лекция?

- Примеры некоторых структур
- Сети – терминология и основные характеристики
- Типы сетей
 - Случайные (Random networks)
 - Маленький мир (Small-world networks)
 - Свободно масштабируемые (Scale free networks)
 - Взвешенные сети
- Заключение

3

Энергетические сети



Hurricane Electric Network
http://www.he.net/about_network.html

Железнодорожные сети



4



Аэропорты



5

Основные авиамаршруты, связывающие Токио с крупнейшими городами

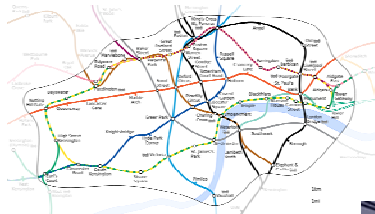


<http://www.tokyo-business.jp/eng/opportunities/network/index.html>

Структура лондонского метро



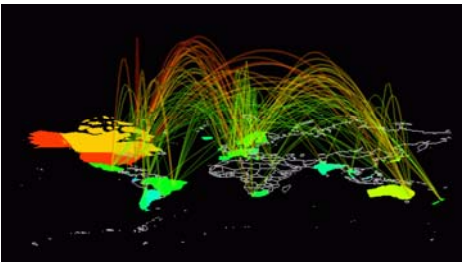
6



http://en.wikipedia.org/wiki/London_Underground

7

Internet, 1993 год

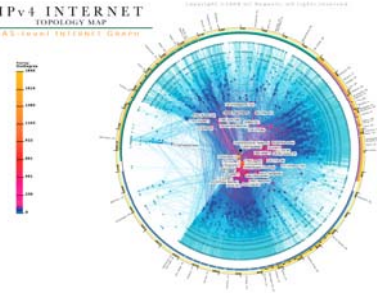


http://mappa.mundi.net/maps/maps_008/

8

Топология Internet, 2008 год

IPV4 INTERNET
TOPOLOGY MAP



Данные на
01.01.2008 - 01.01.2008
IP-адресов - 4,853,991
Соединений - 5,682,419

Угол –
географическая
долгота

$$r = 1 - \log \frac{N+1}{N_{\max}+1}$$

http://www.caida.org/research/topology/as_core_network/

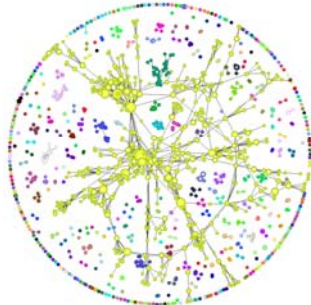
9

Социальные сети



10

Соавторство



1219 авторов статей
среди них 976 соавторов

Самая большая компонента
(кластер) включает в себя
541 соавтора (44% всех
авторов)

Второй по размерам кластер
включает в себя 23 соавтора
(2%)

www.commetrix.de/iris/iris.html

11

Романтические отношения



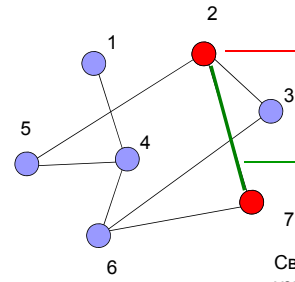
Jefferson High School

535 студентов

http://www.iserp.columbia.edu/research/working_papers/2002_04.html

12

Сеть



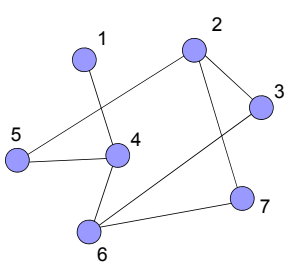
Узел, вершина

Связь, ребро

Связанные друг с другом
узлы (например, 2 и 7),
называются соседними.

13

Описание сети – матрица смежности



$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

14

Характеристики узлов сети

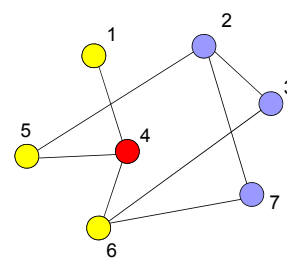
- Степень узла i – количество связей у данного узла:

$$k_i = \sum_{j \in N} a_{ij}$$
- Средняя степень ближайших соседних элементов

$$k_{m,i} = \frac{1}{k_i} \sum_{j \in N} k_j = \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^N a_{ij} k_j$$
- Распределение степеней узлов $P(k)$

15

Характеристики узлов сети - пример



$$k_4 = 3$$

$$k_{m,4} = \frac{1}{3}(1 + 2 + 3) = 2$$

16

Подмножество сети

17

Подмножество – пример

18

Характеристики связей

- Кратчайший путь
- Средний кратчайший путь (характерная длина пути)

$$L = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j \in N; i \neq j} d_{ij}$$

- Эффективность

$$E = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j \in N; i \neq j} \frac{1}{d_{ij}}$$

19

Матрица связей

$d_{13}=3$

$L=1.86$

$$D = \begin{pmatrix} 0 & 3 & 3 & 1 & 2 & 2 & 3 \\ 3 & 0 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 \\ 3 & 1 & 0 & 2 & 2 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 0 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 2 & 1 & 0 & 2 & 3 \\ 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 0 & 1 \\ 3 & 3 & 2 & 2 & 3 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

20

Типы сетей

- Случайные (Random networks)
- Маленький мир (Small-world networks)
- Свободно масштабируемые (Scale free networks)

21

Случайные сети (Random networks)

Распределение степеней узлов подчиняется распределению Пуассона





22




Маленький мир (Small-world networks)

$d_{ij} \sim \sqrt[3]{N}$ D – размерность

23

Маленький мир (Милграм, 1960)

Небраска    Бостон 

   ...

Имя, профессия, приблизительное местоположение

$L \approx 6$

24

Свободно масштабируемые сети (Scale free networks)

- Some social networks, including collaboration networks.
- Networks of sexual partners in humans, which affects the dispersal of sexually transmitted diseases.
- Many kinds of computer networks, including the World Wide Web.
- Semantic networks.
- ...

25

Свободно масштабируемые сети (Scale free networks)

$P(k) \sim k^{-\gamma}$
 $2 < \gamma < 3$

Распределение степеней узлов для сети Internet в разные годы

26

Взвешенные сети

27

Другие важные характеристики

- Центральность элемента (centrality) – характеризует его важность в структуре сети
- Уязвимость (vulnerability) – характеризует, насколько устойчива сеть по отношению к разрушениям того или иного узла (связи)

28

Компьютерные сети



Эффективность передачи данных



Устойчивость к повреждениям

29

Угроза террористических атак




30

Биологические виды Земли



homo sapiens

<http://www.zo.utexas.edu/faculty/antisense/DownloadfilesToL.html>

**Рекомендуемая литература для
дальнейшего изучения вопроса**



- Boccaletti S. et al. Complex networks: Structure and dynamics. Physics Reports 424 (2006) 175-308
- Dorogovtsev S.N., Mendes J.F.F. Evolution of Networks, Oxford University Press, Oxford, 2003
- Benkler Y., The Wealth of Networks: How Social Production Transforms Markets and Freedom. Yale University Press, New Haven and London, 2006
