

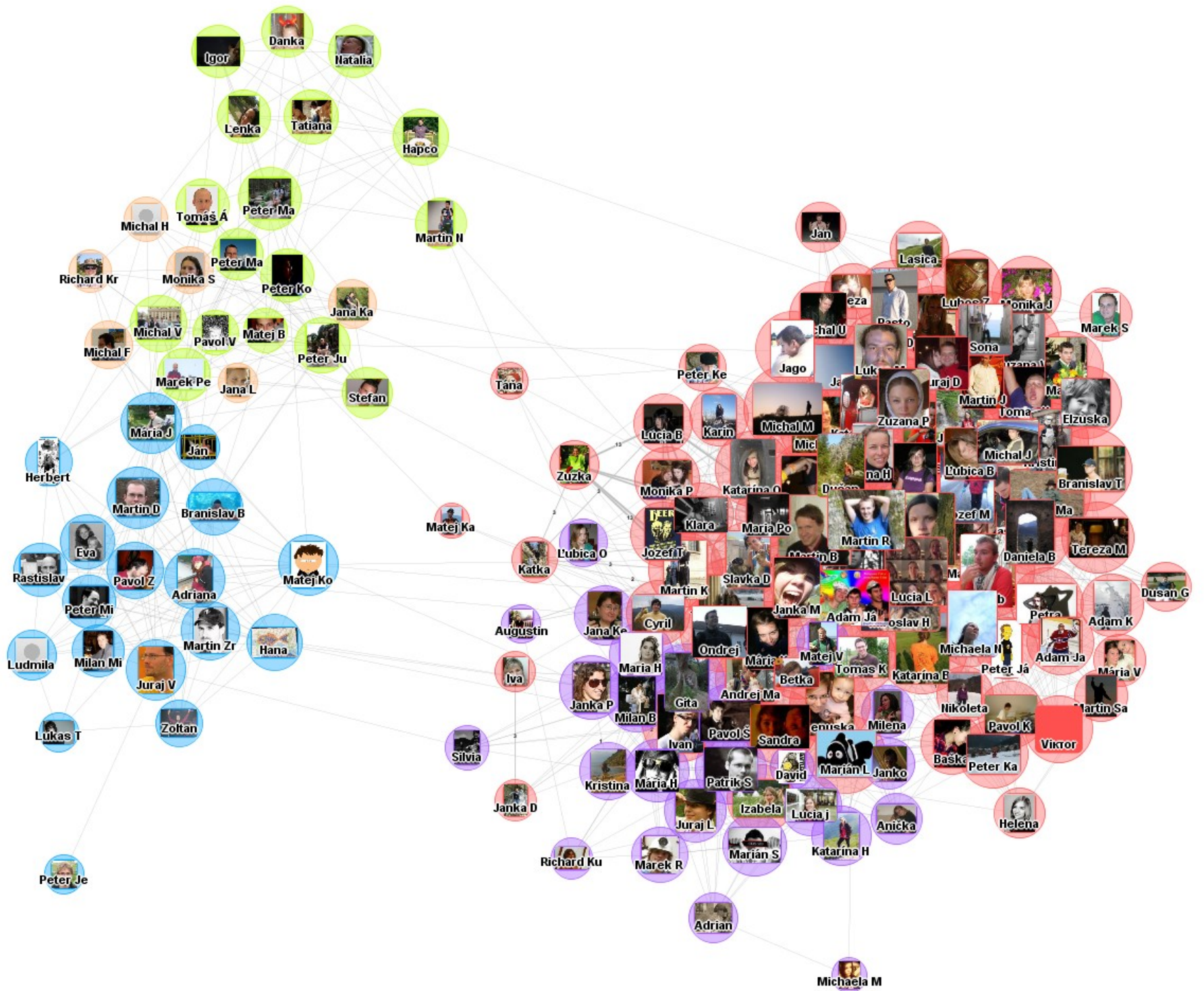
Komplexné siete okolo nás a v nás.

Peter Náther

KAI, FMFI UK

o čom sa budeme baviť

- O sieťach so zaujímavými vlastnosťami, ktoré voláme siete malého sveta (small-world) a bezškálové siete (scale-free).
- O tom ako takéto siete môžu vzniknúť
- Ukážeme si, že aj obrázok ľudského mozgu je vlastne sieť



čo je to malý svet?

čo je to malý svet?

1929 - F. Karinthy: Chain-links



Street Salutation.

čo je to malý svet?

1929 - F. Karinthy: Chain-links

1967 - Stanley Milgram: The Small World Problem



„Six degrees of separation“

čo je to malý svet?

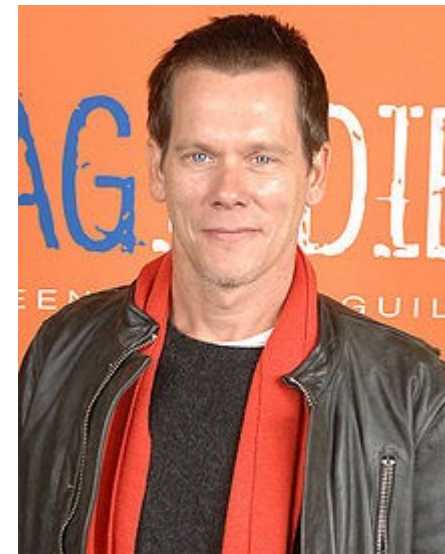
1929 - F. Karinthy: Chain-links

1967 - Stanley Milgram: The Small World Problem



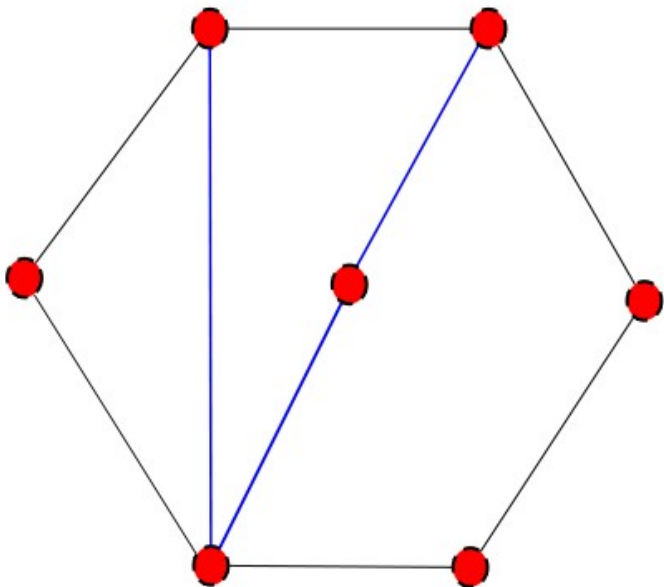
„Six degrees of separation“

Kevin Bacon
stred hereckého vesmíru



čo je to malý svet?

malá priemerná vzdialenosť medzi vrcholmi

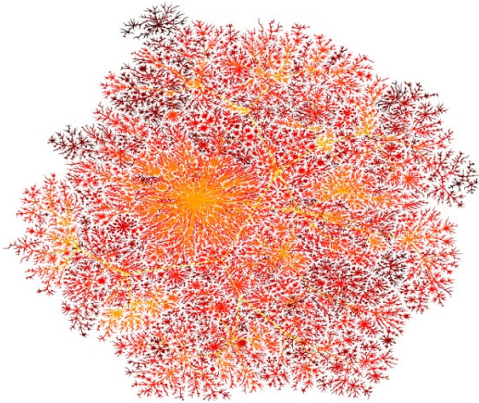


vysoký klasterizačný koeficient



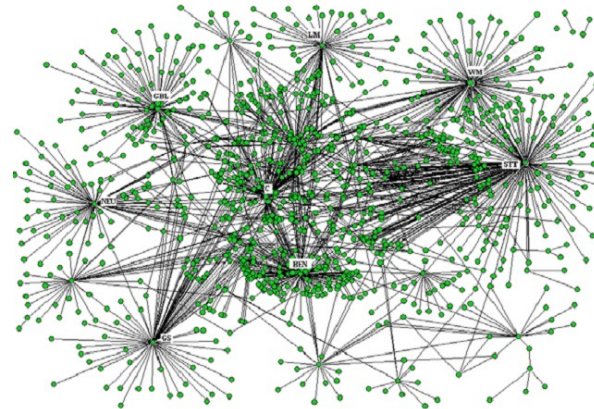
$$c(v) = \frac{\text{počet hrán medzi susedmi vrchola } v}{\text{počet možných hrán medzi susedmi vrchola } v}$$

nájdeme ich všade naokolo



Internet Mapping Project

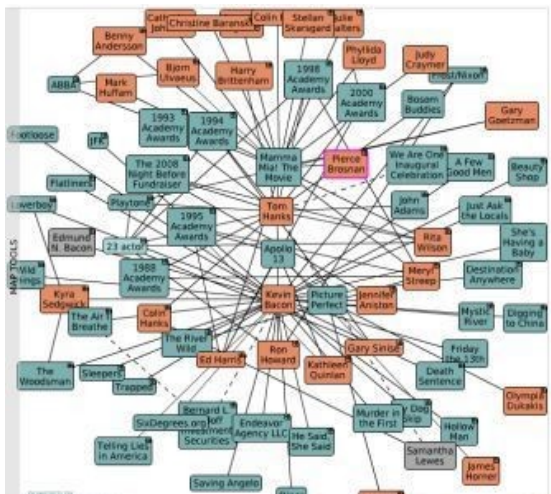
<http://research.lumeta.com/ches/map/>



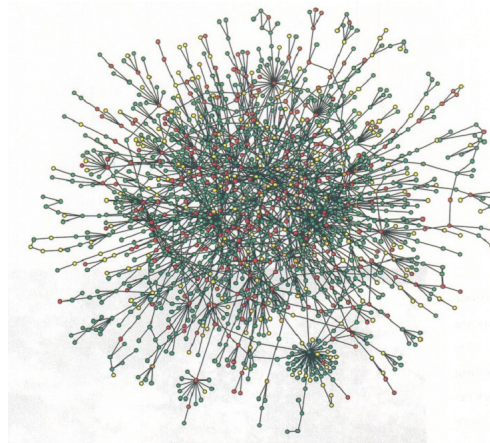
NY Burza



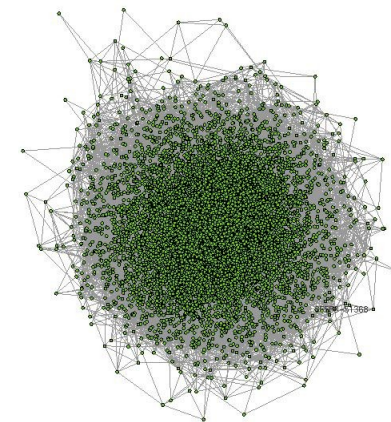
riečna sieť rieky Fella



Herci ktorý hrali s Kevinom Baconom



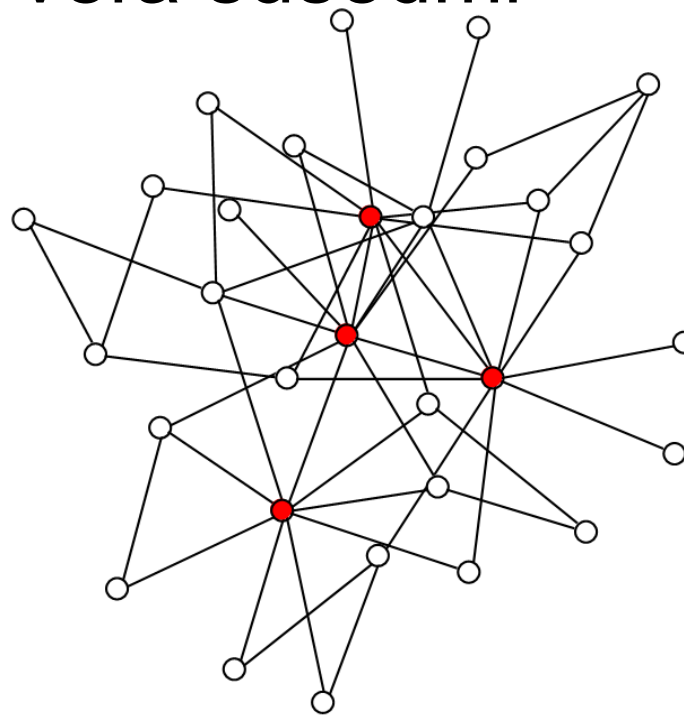
mapa interakcii proteínov



funkčná sieť mozgu

bezškálové (scale-free) siete

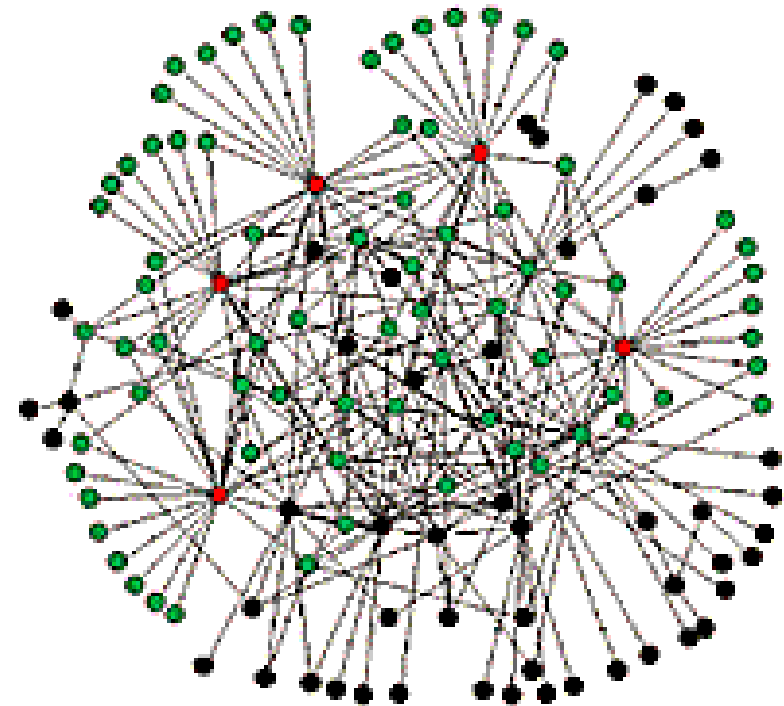
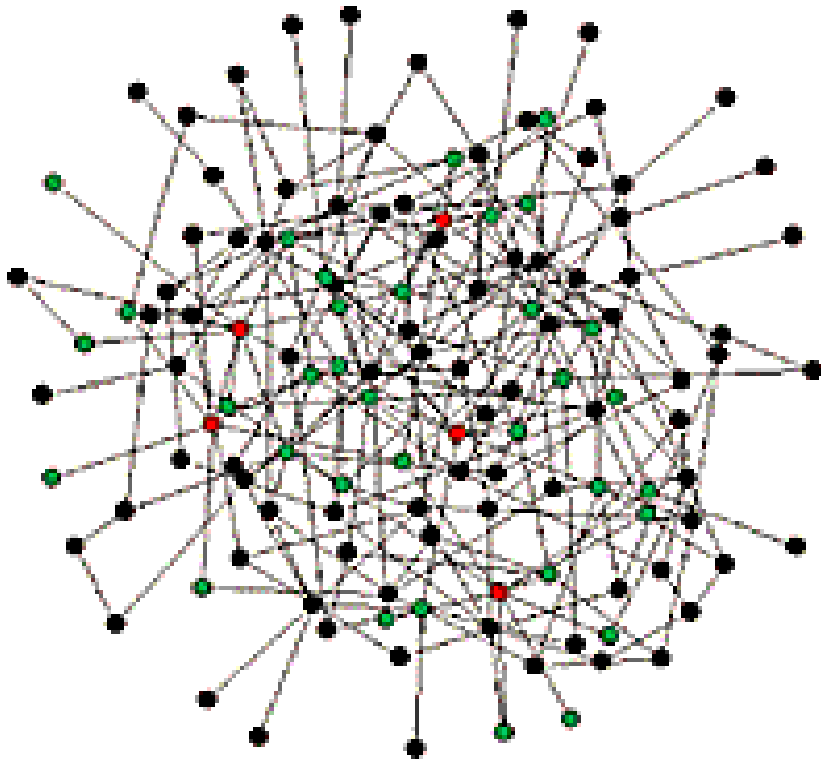
- prítomnosť "hubov" – uzlov s veľa susedmi
- odolnosť voči náhodným útokom
- mocninná (power-law) distribúcia stupňov vrcholov



odolnosť voči náhodným útokom

náhodný graf

bezškálová sieť



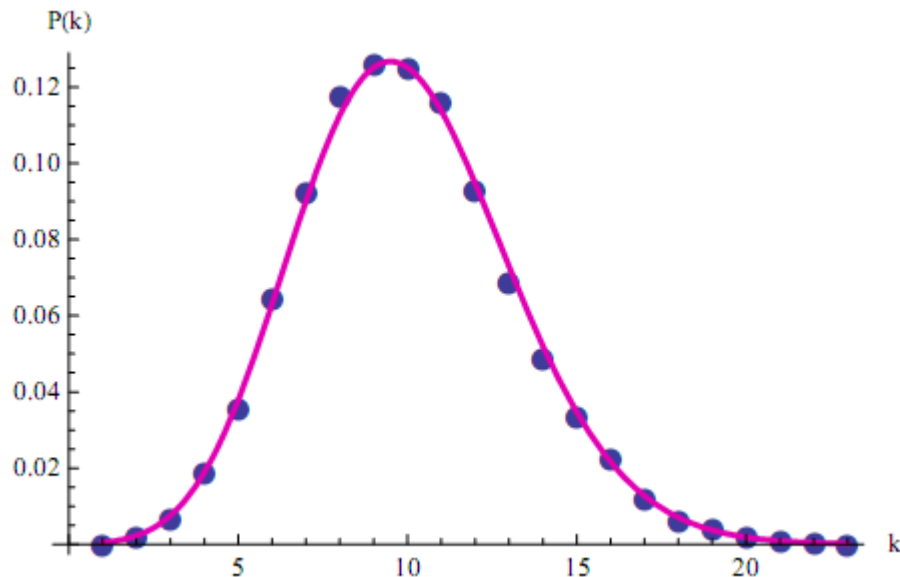
distribúcia stupňov vrcholov

k - stupeň vrchola = počet jeho susedov v grafe

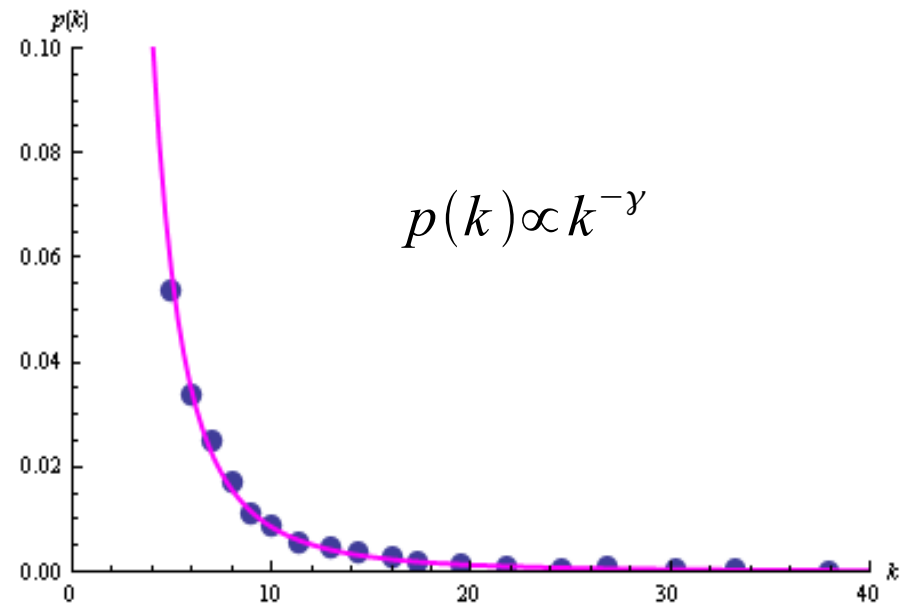
$p(k)$ – pravdepodobnosť, že vrchol má stupeň k

distribúcia stupňov vrcholov

distribúcia stupňov v náhodnom grafe má normálne rozdelenie

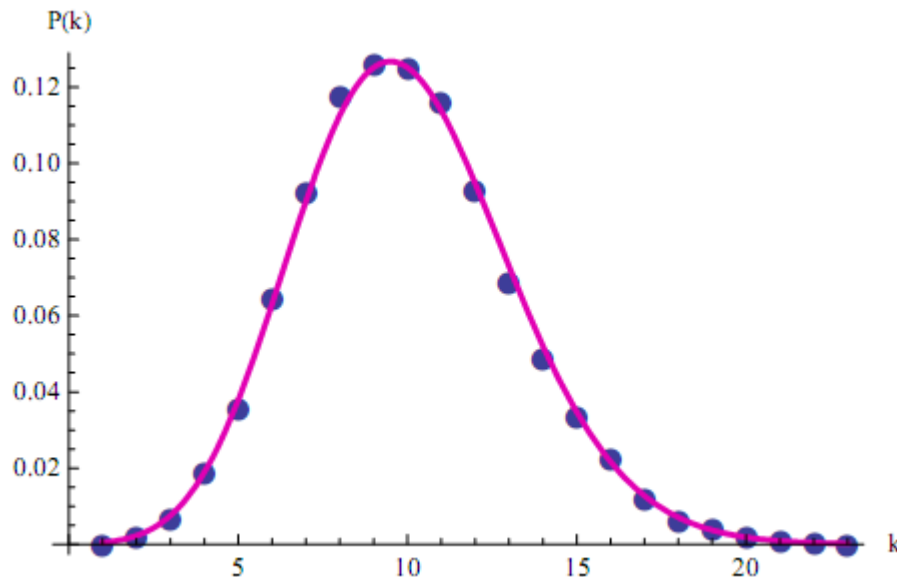


v bezškálových sieťach má mocninný priebeh

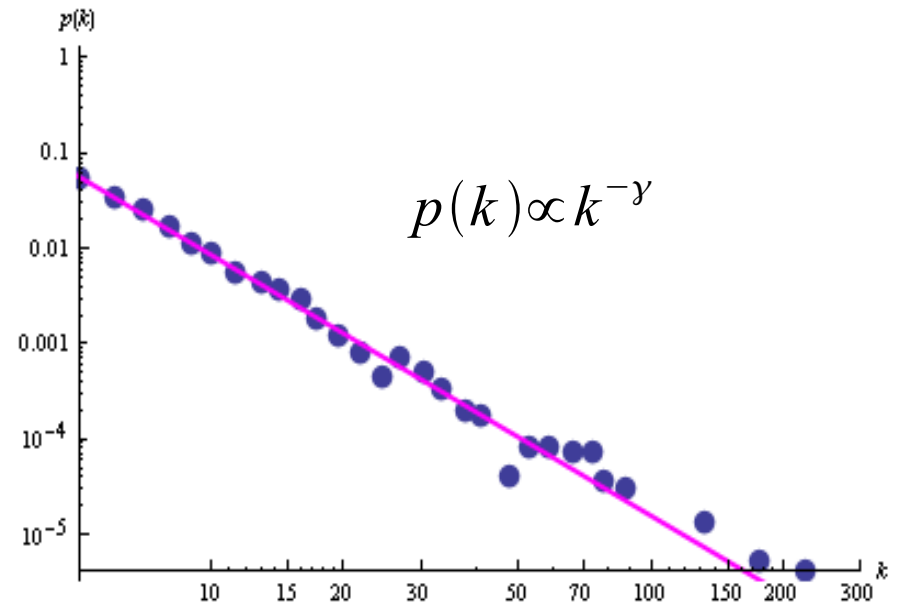


distribúcia stupňov vrcholov

distribúcia stupňov v náhodnom grafe má normálne rozdelenie



v bezškálových sieťach má mocninný priebeh



log-log mierka

bezškálové (scale-free) siete

A.-L. Barabási, R. Albert

Emergence of scaling in random networks

Science 286, 509–512 (1999)

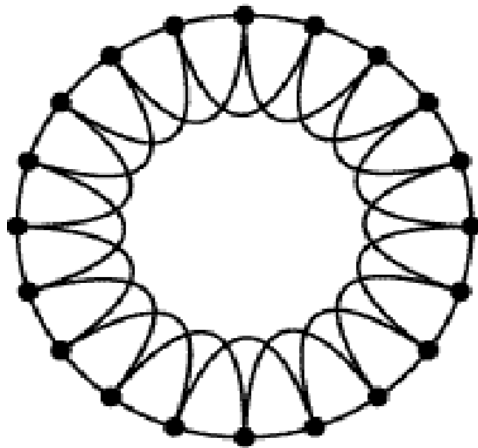
"The power law distribution thus forces us to abandon the idea of a scale, or a characteristic node. In a continuous hierarchy there is no single node which we could pick out and claim to be characteristic of all the nodes. There is no intrinsic scale in these networks. This is the reason my research group started to describe networks with power law degree distribution as scale-free."

Ako takéto siete vznikajú?

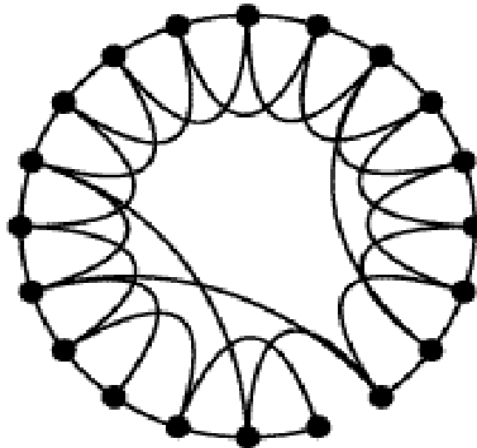
model malého sveta

Watts-Strogatz model (1998)

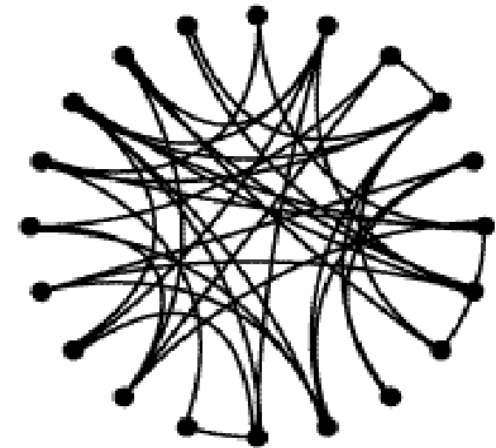
Regular



Small-world



Random



$p = 0$

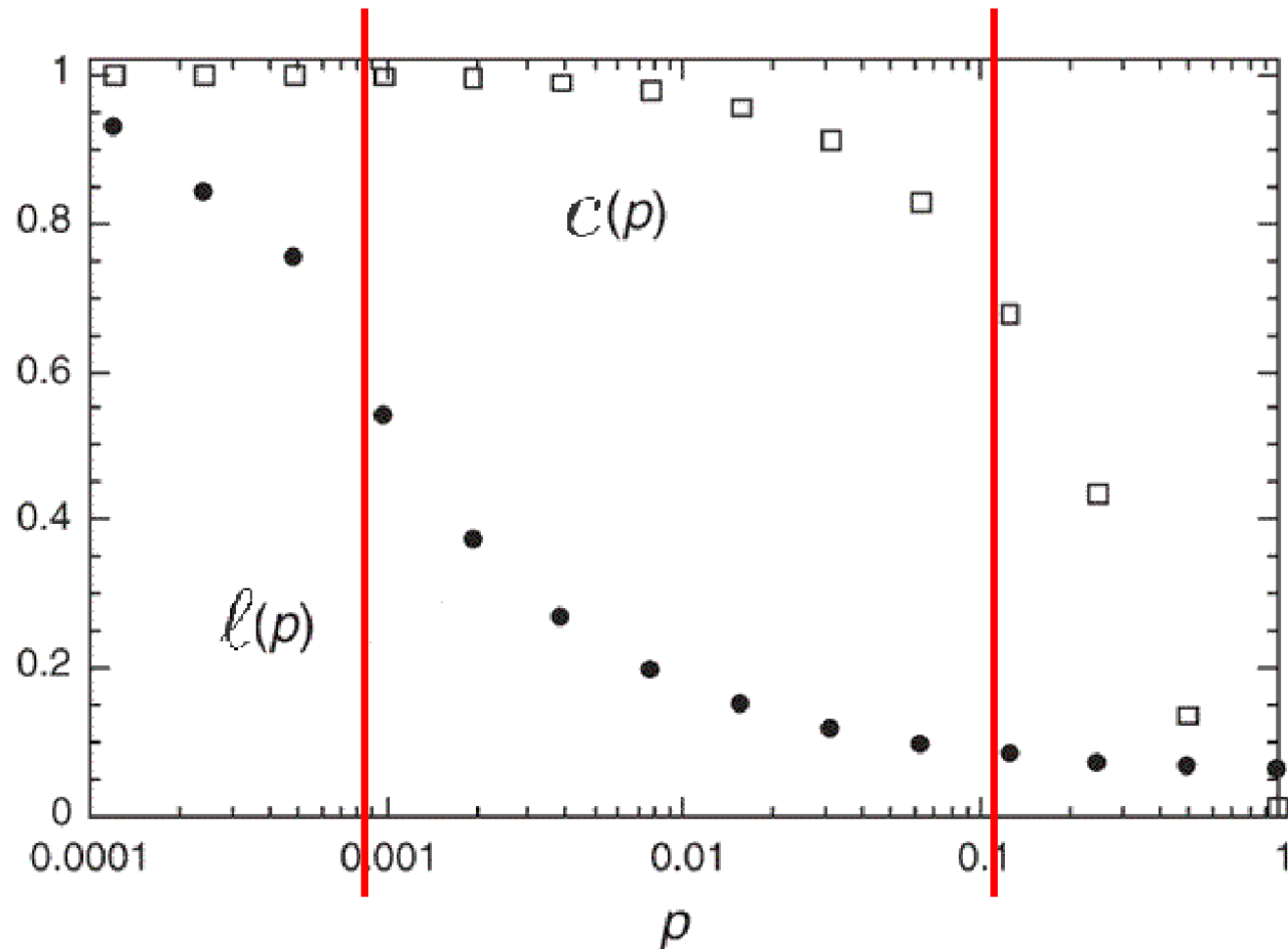


$p = 1$

Increasing randomness

model malého sveta

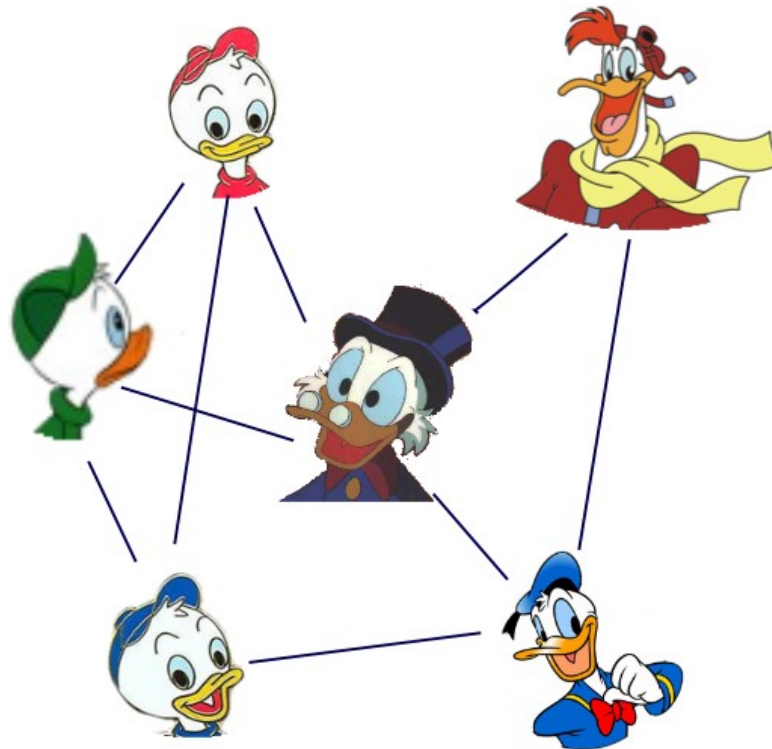
Watts-Strogatz model (1998)



model bezškálovej siete

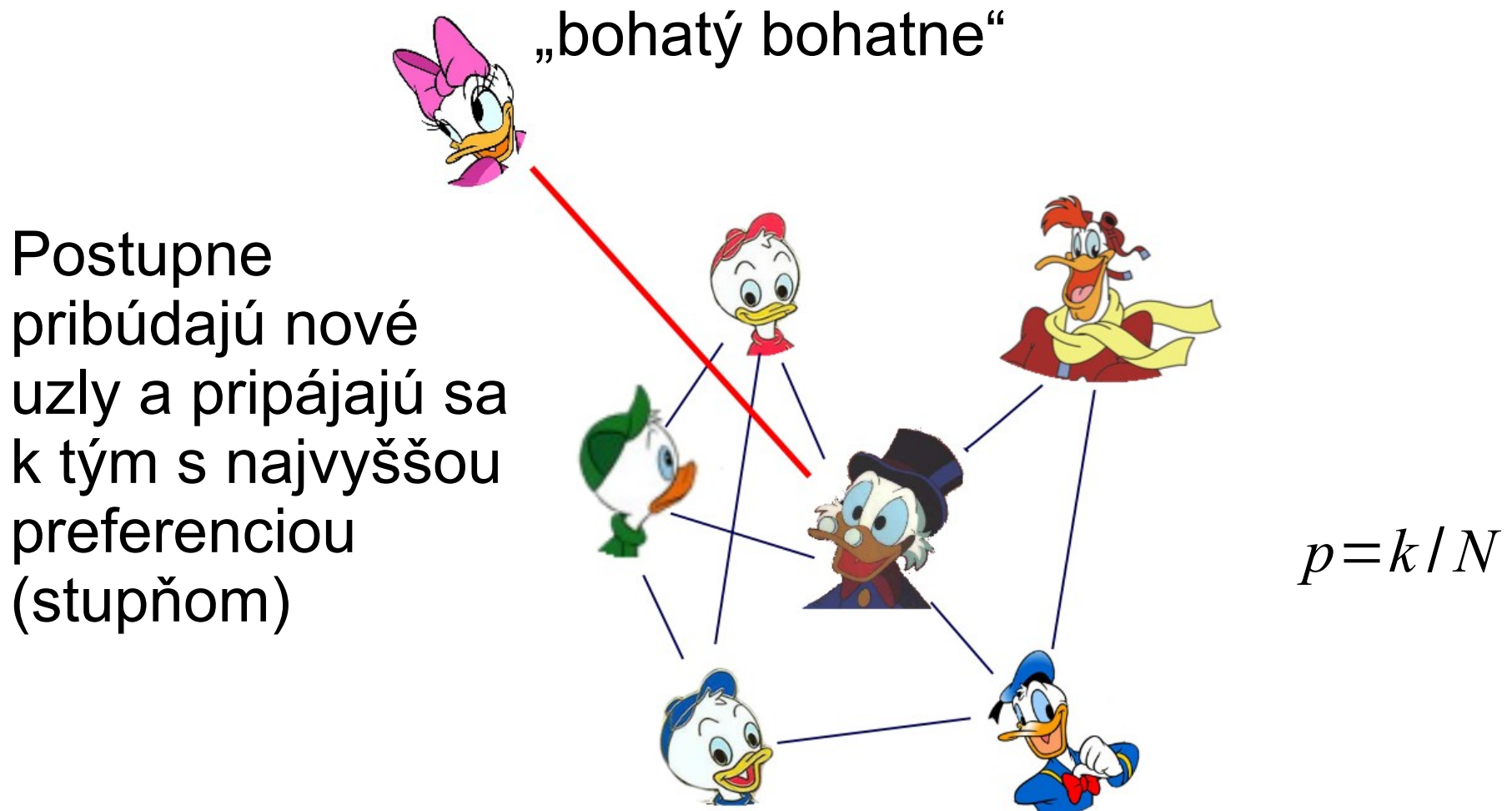
Barabási - Albert model preferenčného pripájania(1999)

„bohatý bohatne“

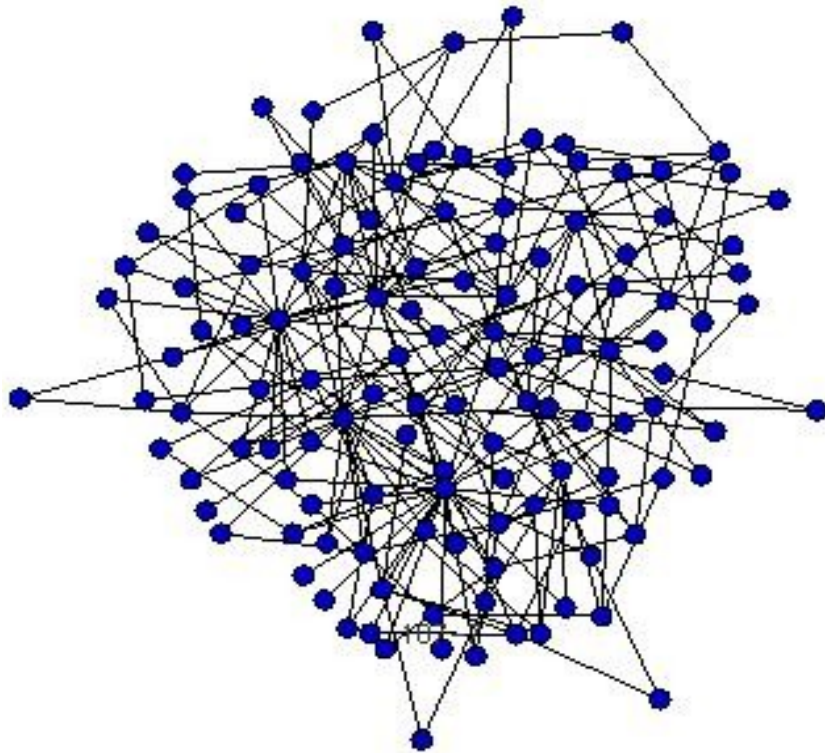


model bezškálovej siete

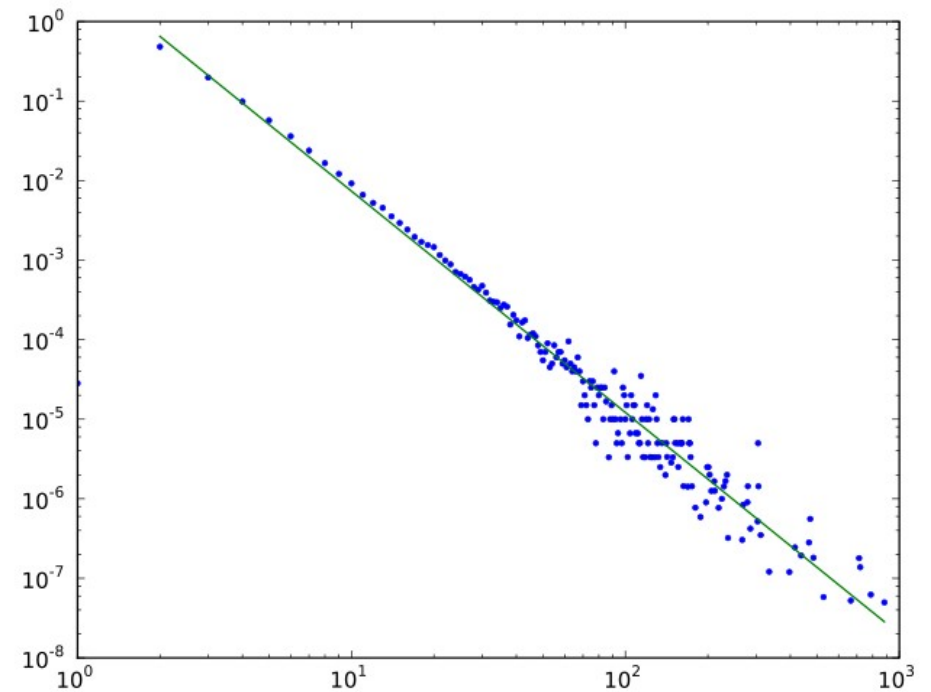
Barabási - Albert model preferenčného pripájania(1999)



bezškálová sieť – BA model



$$p(k) \propto k^{-\gamma}$$

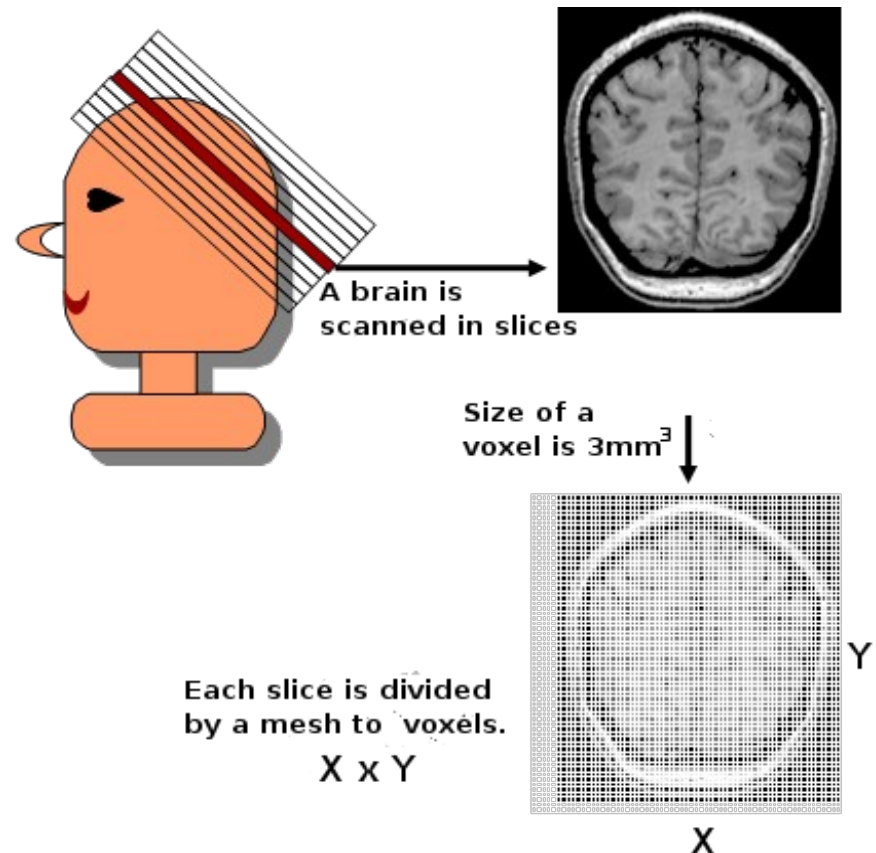


čo z toho máme

- optimalizáciu komunikačných sietí (FreeNet)
- simuláciu šírenia pandémie a detekciu kritických bodov
- komponovanie hudby
<http://cktse.eie.polyu.edu.hk/MUSIC/>
- štúdium sietí mozgu

functional Magnetic Resonance Imaging

- meranie nervovej aktivity pomocou toku a okysličovaní krvi – haemodynamika
- intenzita je meraná pre oblasti nazývané voxely o veľkosti niekoľkých milimetrov



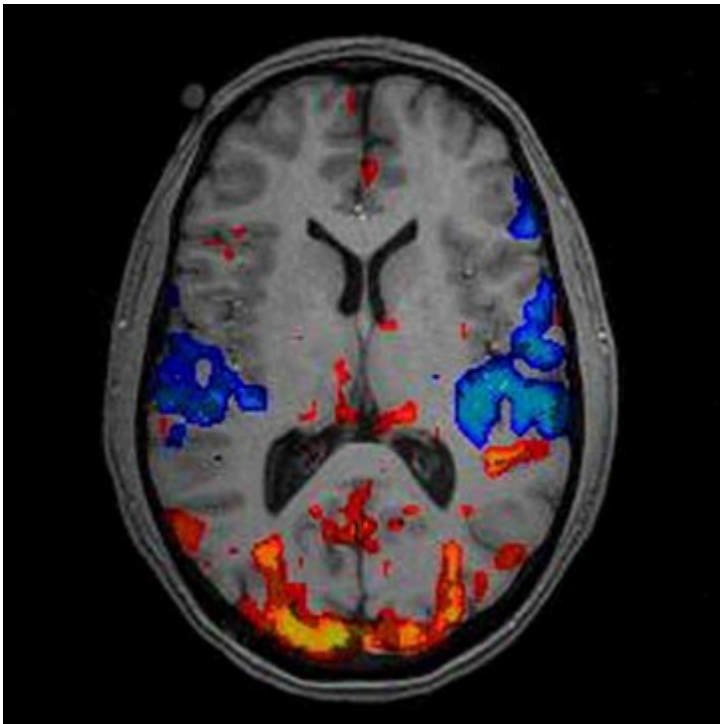
functional Magnetic Resonance Imaging

Mozog je skenovaný po vrstvách niekoľko krát za sebou. Takto získavame 3D obraz aktívnych voxelov v čase.

Dokážeme tak určiť, voxely aktívne pri rôznych kognitívnych úlohách.



functional Magnetic Resonance Imaging


$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 40 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \\ 20 & 0 & 80 & 0 & 10 \\ 100 & 20 & 100 & 10 & 90 \\ 0 & 120 & 130 & 150 & 0 \end{pmatrix}$$

Siete mozgu

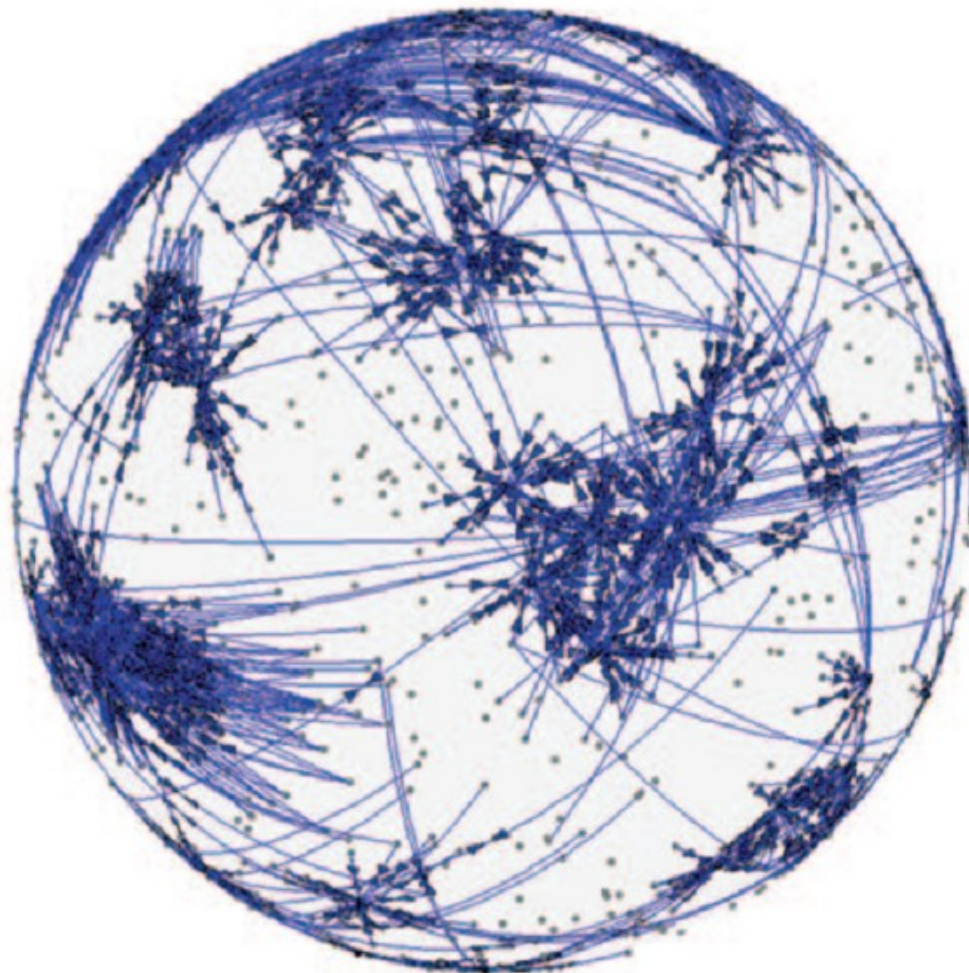
Voxely sú tvorené neurónmi, ktoré sú fyzicky prepojené. Vzniká tak sieťová štruktúra popisujúca fyzickú topológiu prepojenia voxelov.



Siete mozgu



fyzická štruktúra



funkčná sieť

Siete mozgu

- Počas vykonávania úloh sa aktivita voxelov mení. Ak je aktivita dvoch voxelov v **korelácii**, hovoríme o funkčnom prepojení. Vznikajú tak funkčné siete mozgu.
- Sú špecifické a iné pre každú kognitívnu úlohu

„fingertapping“- Univerzity of Otago, NZ

- jednoduchá kognitívna úloha („fingertapping“)
- fáza *test* (20 sekúnd), fáza *rest* (20 sekúnd)
- osem vrstiev po 64x64 - 32000 voxelov
- v každom cykle 10 meraní
- iba voxely s intenzitou 300 až 500

„fingertapping“- Univerzity of Otago, NZ

	N	C	L	γ
test	5655	0.33	3.18	1.02
rest	5657	0.32	3.23	1.93

zdraví

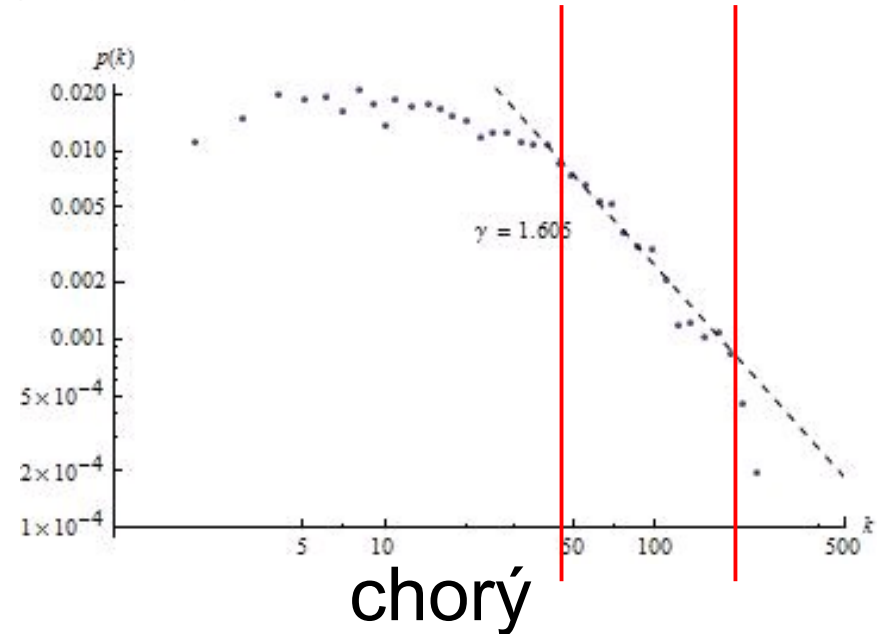
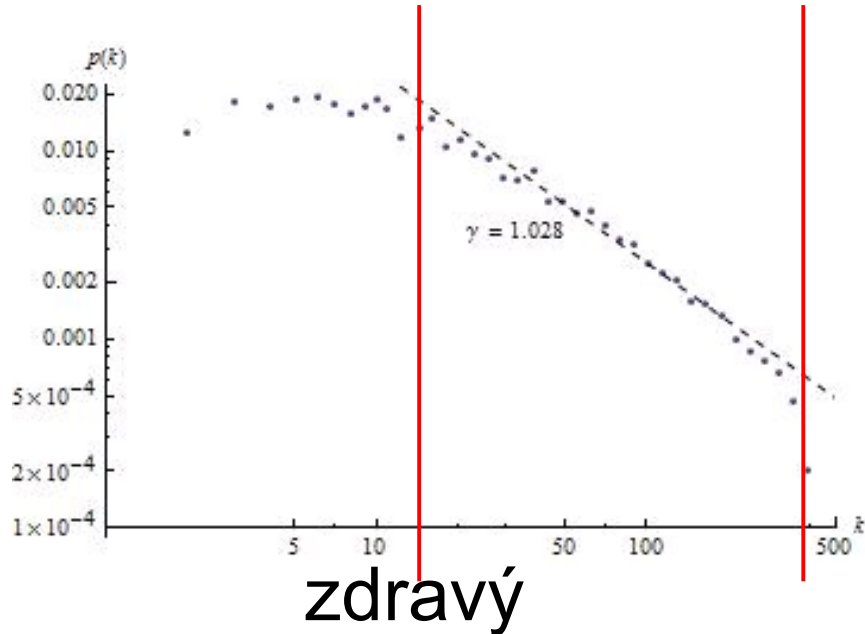
	N	C	L	γ
test	6604	0.34	3.15	1.40
rest	6619	0.41	3.01	1.11

chorý

Zaznamenali sme malý rozdiel medzi fázami *test* a *rest*, všimli sme si však rozdieli v topológii medzi zdravými jedincami a chorým subjektom

„fingertapping“- test

Distribúcia stupňov vrcholov $P(k)$
intenzita voxelov 300 - 500

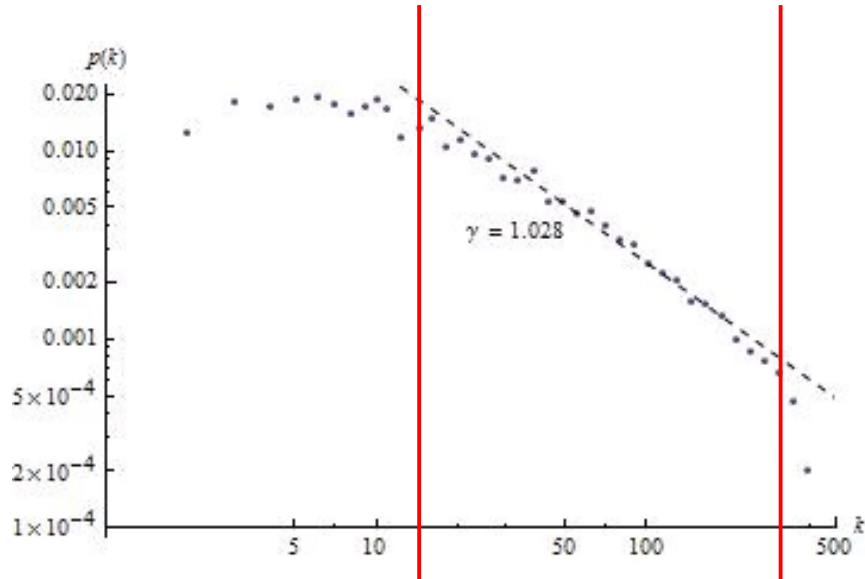


Lineárna časť je výraznejšia u zdravého jedinca

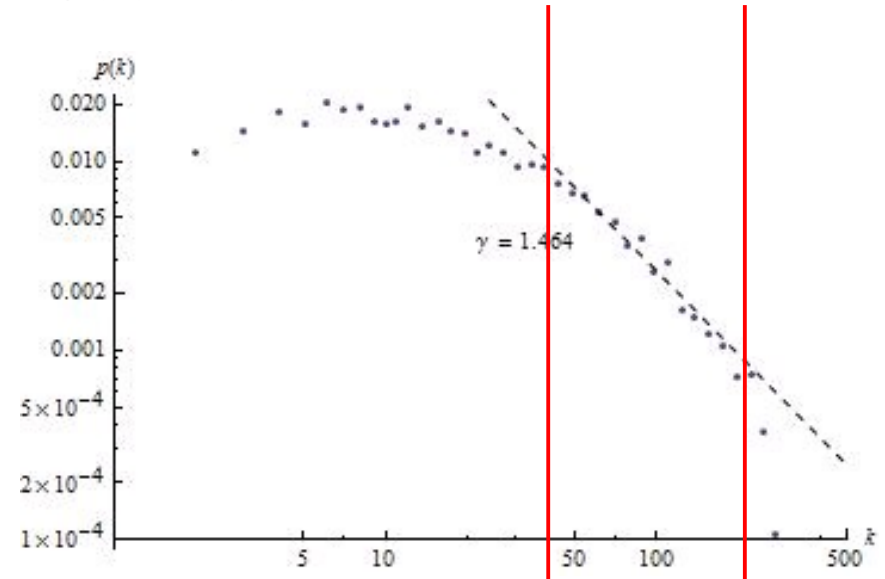
Dáta sú zobrazené v log-log plote, ak sú aproximovateľné priamkou, majú mocninný charakter

„fingertapping“- test vs. rest

Distribúcia stupňov vrcholov $P(k)$
intenzita voxelov 300 - 500



test

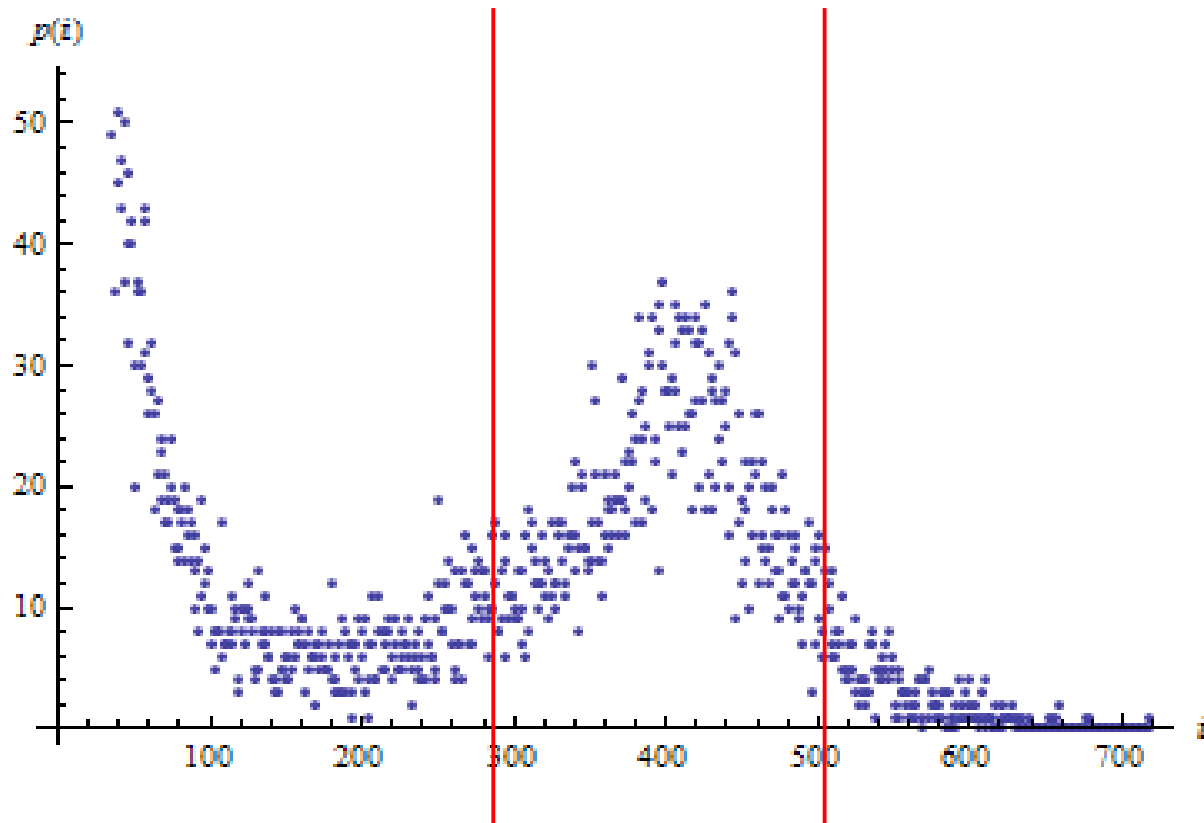


rest

Lineárna časť je výraznejšia vo fáze test

Dáta sú zobrazené v log-log plote, ak sú aproximovateľné priamkou, majú mocninný charakter

prečo 300 až 500?



Príliš malé a veľké intenzity neberieme do úvahy. Jedná o chyby alebo voxely z mimo mozgových oblastí.

„dementia study“

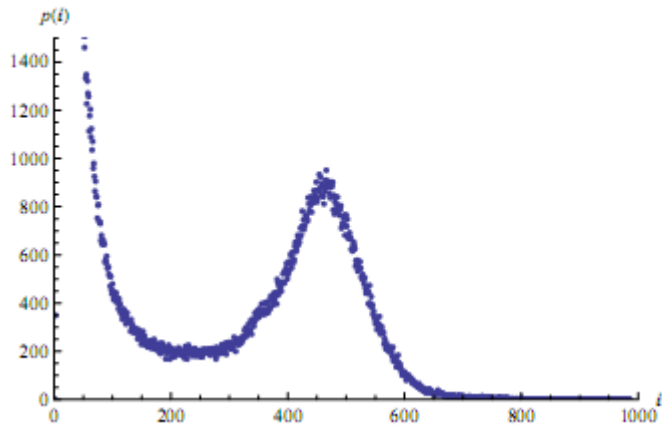
- jednoduchá senzor-motorická úloha
- tri skupiny - mladí ľudia, starí ľudia, starí ľudia trpiaci demenciou
- šestnásť vrstiev vrstiev po 64x64 - 65536 voxelov
- 60 meraní pre každý subjekt
- voxely s intenzitou 300 až 650

„dementia study“

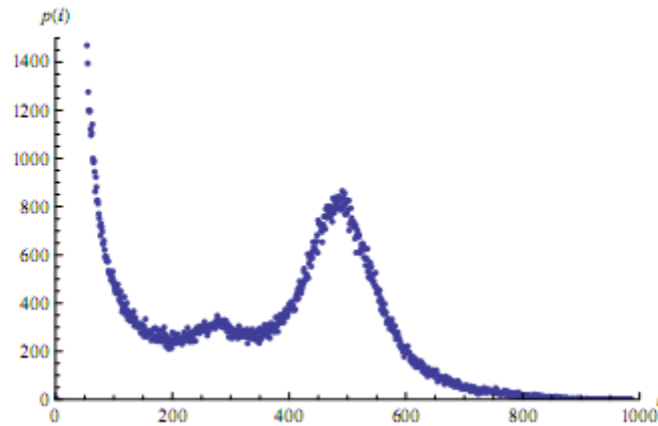
	N	C	L	γ
priemer	10000	0.33	3.95	1.02

Medzi subjektmi rôzneho veku nebolo možné pozorovať významné rozdiely.

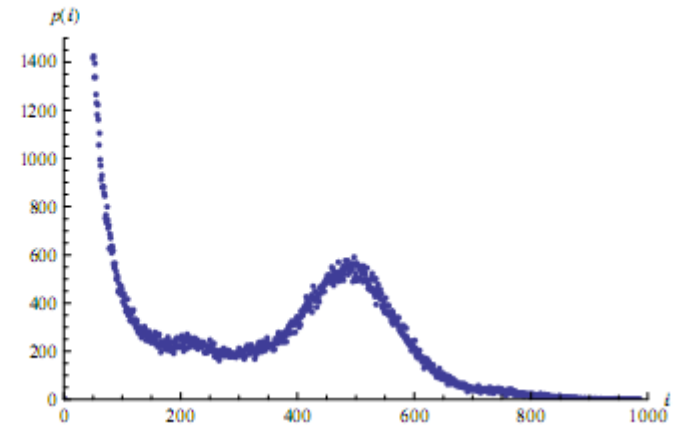
„dementia stury“



mladí

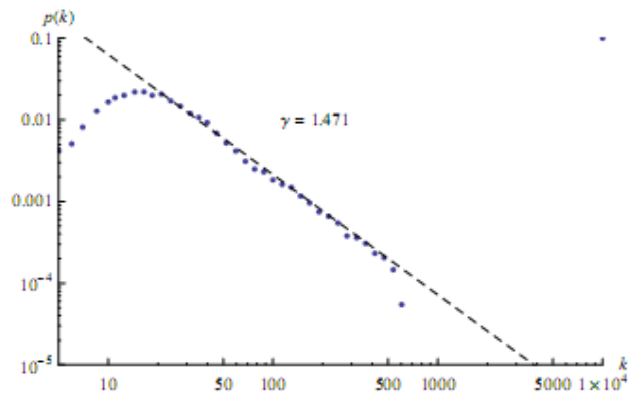


starí

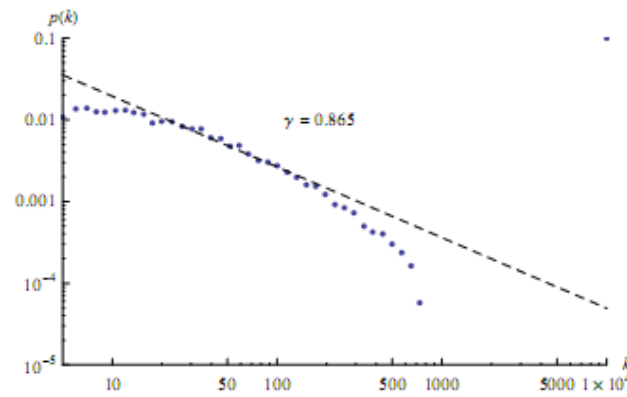


starí s demenciou

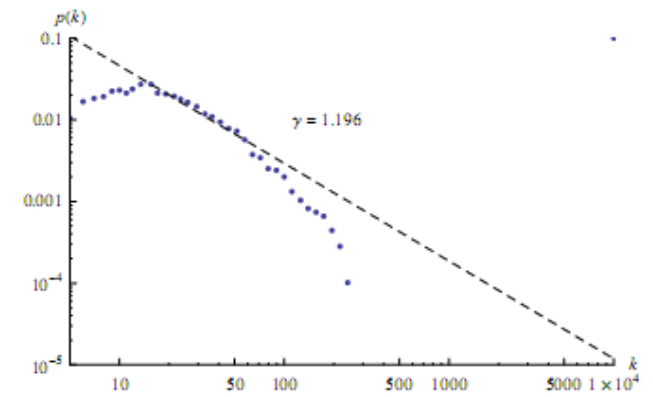
„dementia study“



mladí



starí



starí s demenciou

funkčné siete mozgu

- Funkčné siete v mozgu pre rôzne úlohy majú skutočne charakter sietí malého sveta a bezškálových sietí.
- Časti distribúcie pre ktoré majú siete (mocninný) power-law charakter, sú výraznejšie jednak u **zdravého** pacienta a po druhé vo fáze **test**
- Dal by sa na základe topológie funkčnej siete (distribúcie stupňov vrcholov, klasterizačných koeficientov) charakter vykonávaných úloh?
- Dokáže detailnejšia analýza poukázať na prítomnosť demencie?

Ďakujem za pozornosť

nather@ii.fmph.uniba.sk

D. J. Watts. Small worlds: The dynamics of networks between order and randomness. Princeton University Press, Princeton, NJ, 1999.

R. Albert, H. Jeong, and A. L. Barabási. The Diameter of the WWW. Nature 401: 130–131, 1999

R. Albert and A. L. Barabasi. Statistical mechanics of complex networks. Reviews of Modern Physics, 74(1):47{97, January 2002

D. R. Chialvo. Critical brain networks. Physica A, 340(4):756{765, 2004.

<http://dai.fmph.uniba.sk>

Deň otvorených dverí FMFI UK (2.6.2010)
v stredu 2.6.2010 v čase od 8:00 do 13:00

- Rozpoznávanie reči. Aplikácie rečového dialógu. Počítač – učiteľ čítania a písania. Neurónové siete. Ukážky robotických aplikácií.
- Špeciálny HW a SW pre zrakovo postihnutých. Prístupnosť elektronických dokumentov pre zdravotne postihnutých.
- Mobilná navigácia pre nevidiacich.
- Trojrozmerné modely. Virtuálna realita a objemová grafika. Medicínske spracovanie obrazu.