

Univerzálny kognitívny informačný systém

Tomáš Selnekovič

Ústav aplikovanej informatiky
Fakulta informatiky a informačných technológií
Slovenská technická univerzita v Bratislave

23.3.2009

Obsah

Potreba nového prístupu v UI pri výskume inteligentných systémov

- Problémy súčasných prístupov
- Cieľové vlastnosti inteligentných systémov
- Metodika výskumu - princípy

Univerzálny kognitívny informačný systém

- Konceptia systému
- Kognitívne schopnosti systému
- Aktuálny stav projektu

Dosiahnuté výsledky, ďalšia vízia

Ciele umelej inteligencie

- Vývoj autonómnych, všeobecne použiteľných a inteligentných systémov
- Tento problém doposiaľ nebol uspokojivo vyriešený
- Nejednotnosť mnohých teoretických prístupov nevedie k tomuto cieľu, iba k čiastkovým výsledkom, ktoré sa nedajú integrovať do jediného riešenia.
- Potreba takýchto systémov neustále rastie.

Inteligencia systému

Schopnosť systému uspokojivo a efektívne splniť rôzne typy úloh, na ktorých vyriešenie systém nemá dostatočný čas na prípravu a postačujúce znalosti a prostriedky.

Efektívnosť splnenia úlohy sa posudzuje vzhľadom na subjektívne uvažované kvantitatívne atribúty (čas, miera kvality riešenia, ...)

Neurónové siete

Charakteristika

- Abstrakcia nervového systému živých organizmov
- Modelovanie štruktúry nervovej siete pomocou vzájomne poprepájaných umelých neurónov
- Prenos a šírenie aktivácie sieťou
- Subsymbolický spôsob reprezentácie informácii

Neurónové siete

Výhody

- Univerzálnosť použitia
- Paralelné spracovanie informácií
- Efektívna abstrakcia riadiacich pravidiel zložitých regulátorov
- Redukcia rozmeru riešených problémov
- Aproximácia spojitých funkcií s ľubovoľnou presnosťou
- Jednotný spôsob reprezentácie údajov
- Jeden z kľúčových prístupov v kognitívnej vede pri realizácii kognitívnych schopností v IS

Neurónové siete

Problémy

- Návrh topológie (štruktúry) siete
- Návrh vlastností aktivačnej funkcie neurónu
- Problematická dynamická adaptácia siete
- Ťažkosti pri reprezentácii zložitých objektov (nespojitéch a komplexných funkcií)
- “Neviditeľnosť” informácií
- Príliš vysoká abstrakcia modelu nad biologickou nervovou sústavou
- Vysoké nároky na výkon hardvéru

Znalostné a expertné systémy

Charakteristika

- Kombinácia rôznych prístupov UI, kognitívnej vedy, algoritmov a heuristik
- Špecifická architektúra systému podľa povahy riešeného problému
- Spracovanie informácií pomocou funkčne “ohraničených” modulov
- Hybridný spôsob reprezentácie informácií (kombinovanie symbolických a subsymbolických prístupov)

Znalostné a expertné systémy

Výhody

- Použiteľnosť na komplexné problémy v rôznych oblastiach
- Založené zväčša na princípoch formálne definovanej logiky
- Jednoduchá reprezentácia aj zložitých objektov a neistých vzťahov
- Formalizované inferenčné procesy

Znalostné a expertné systémy

Problémy

- Architektúra systému je špecifická a silne závislá od povahy riešeného problému
- Systém schopný pracovať len v špecifických prostrediach s presne definovanými typmi údajov
- Rôzne spôsoby reprezentácie údajov => ťažkosti s odhaľovaním vzájomných korelácií, duplicita, protirečivosť a nekonzistencia údajov
- Nedostatočná schopnosť zachytiť variabilitu objektov a procesov reálneho sveta

Ostatné prístupy

Semantické siete

- Zložitosť interpretácie uzlov siete
- Problémy s vyjadrením kvantitatívnych vzťahov (počet, množstvo, veľkosť, poradie)
- Povolené sú len niektoré typy relácií medzi entitami
- Problematická vzájomná integrácia rôznych druhov semantických sietí
- Nedostatočná schopnosť zachytiť variabilitu entít

Subsymbolický alebo symbolický prístup?

“Pomocou jedného dokážeme dobre robiť to, čo pomocou druhého ide len ťažko a naopak ..”

Symbolický prístup – reprezentácia aj komplexných objektov a kauzálnych závislostí. Problémy s vyjadrením variability objektov – nekonečná kombinatorická zložitosť reálneho sveta.

Subsymbolický prístup – výborná schopnosť zachytiť variabilitu reálneho sveta, ale ťažkosti s reprezentáciou komplexných objektov a vzájomných vzťahov.

Modelovanie a simulácia mozgových štruktúr

- Počítačové modelovanie anatómie a fyziológie mozgových štruktúr
- Možná hardvérová realizácia s použitím nanometrických zariadení
- Obrovská výpočtová náročnosť, nutnosť aktualizovať stav mnohých prvkov naraz
- Problém navrhnutia správnej topológie a štruktúry modelu
- Problematická stabilita navrhnutej štruktúry a jej optimalizácia

Modelovanie a simulácia mozgových štruktúr

Konštrukcia rýchlych a flexibilných modelov mozgu

Významné projekty:

- Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics (SyNAPSE) - Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)

<http://www.sainc.com/SyNAPSETeaming/>

- Blue Brain Project - Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

<http://bluebrain.epfl.ch/>

SyNAPSE

Cieľom je postaviť superpočítač pozostávajúci zo špecializovanej elektroniky realizujúcej impulzové neurónové siete a ďalšie štruktúry a orgány mozgu.

- Verná reprezentácia biologických neurónov na úrovni hardvéru
- Realizácia efektov LTP, LTD a STDP (Spike Timing Dependent Plasticity)
- Autonómny proces, samoorganizácia, programovateľná konektivita
- Nízka spotreba elektrickej energie, CMOS
- 10^6 neurónov, 10^{12} synapsií

Blue Brain Project

Modelovanie a simulácia biologických neurónov, mozgových štruktúr a elektrochemických procesov v mozgu na paralelnom superpočítači Blue Gene (8192 procesorov, rýchlosť 22.8 teraflopov)

- Simulácia modelu neokortexu (funkcia reči, učenie, pamäť)
- Automatické prepojenie neurónov na základe experimentálnych dát (30+ miliónov synapsií)
- Rýchlosť modelu je porovnateľná s rýchlosťou biologických štruktúr

Kde tu je ale inteligencia a myslenie?

- *“Máme súčiastky, tak ich nejak poskladajme, snád' to niečo bude robit' ..”*
- Súčiastky zrejme nestačí len kvázináhodne spojiť a čakať že nad týmto modelom začne emergovať myslenie.
- A čo tak snažiť sa vystihnúť princípy ktoré realizujú zložité mozgové štruktúry a tieto princípy realizovať nad jednoduchým modelom?

Univerzálny kognitívny informačný systém

- Vysoká abstrakcia mozgových procesov, vlastností a charakteristík mozgových štruktúr
- Teoretické a konceptuálne východiská pre model vychádzajú z biológie, kognitívnej psychológie a matematiky (teória pravdepodobnosti, štatistika a teória grafov)
- Centrálnou snahou je odstránenie nedostatkov hlavných prístupov UI a principiálna integrácia ich výhod do jediného modelu.

Vlastnosti systému

“Jednoduchý model vystihujúci princípy, ktoré realizujú komplexné mozgové štruktúry.”

- Univerzálna použiteľnosť (dátová a funkčná nezávislosť)
- Integrácia symbolického a subsymbolického prístupu
- Realizácia kognitívnych schopností:
 - Pamäť
 - Učenie
 - Adaptácia (plasticita)
 - Rozpoznávanie
 - Usudzovanie
 - Reagovanie systému (reflexné a zámerné)
- Hardvérová nenáročnosť

Asocianizmus – integrujúca syntéza

Zaoberá sa otázkou, ako sa môžu udalosti a myšlienky navzájom spájať a interagovať tak, aby výsledkom bolo učenie a myslenie.

Kľúčový princíp: Záleží na existencií alebo neexistencií informácie v pamäti. Ak existuje, informácia ako taká nie je podstatná, dôležitý je jej súvis s inými informáciami v pamäti.

Spájanie (asociovanie) informácií na základe:

- “aktivácie” v približne rovnakom čase
- podobnosti (podobné vlastnosti)
- rozdielnosti (rozdielne vlastnosti, kontradikcia)

Reprezentácia údajov a informácií

“Reprezentujeme informácie a údaje tak, ako je potrebné s ohľadom na povahu problému.”

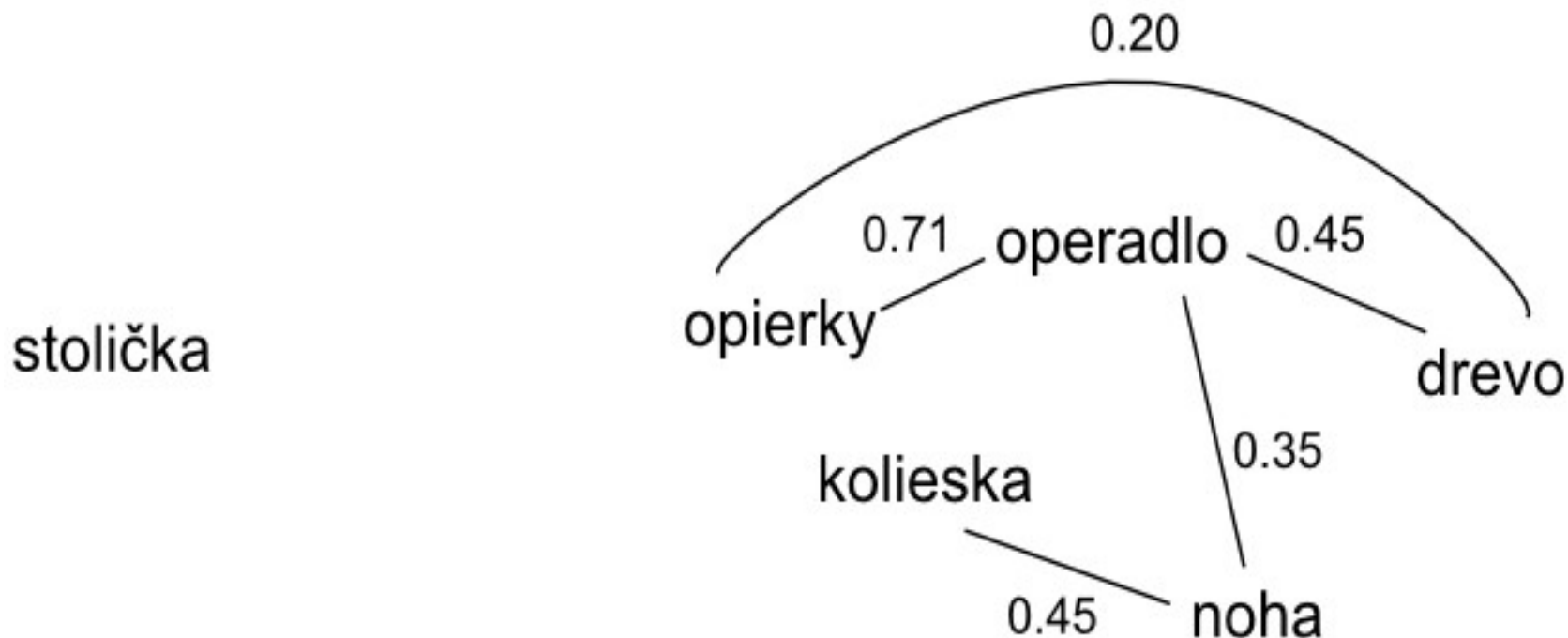
- Špecifikujeme teda len existenciu dát alebo informácií v pamäti a ich význam s ohľadom na iné informácie.
- Údaj alebo informácia je chápaná ako “entita”.
- Musí byť zohľadnená neistota vzájomných vzťahov.

Prirodzená asociácia (väzba)

- Vyjadruje vzťah súvislosti nejakej entity s inou
- Je to kvantitatívny údaj vyjadrujúci pravdepodobnosť vzájomného súvisu dvoch entít
- Vznikajú a zanikajú autonómne na základe:
 - externých a interných podnetov
 - vnútorného stavu systému
 - na základe preferencií systému

Informačný koncept

- Súbor entít spolu so vzájomnými asociáciami
- Vyjadruje vzájomnú súvislosť viacerých entít navzájom
- Informačný koncept predstavuje existenciu “zloženej” entity



Asociačná impulzová sieť (AIS) (1)

- Je to dynamická adaptívna pravdepodobnostná sieť pozostávajúca z informačných konceptov
- Informačné koncepty sú navzájom poprepájané a vytvárajú hierarchické zhluky
- Informačné koncepty v AIS nie sú presne ohraničené
- Súčasťou AIS sú okrem entít a asociácií aj iné funkčné moduly:
 - Receptory
 - Efektory
 - Pomocné moduly

Asociačná impulzová sieť (AIS) (2)

- AIS rozširuje vlastnosti asociácií o schopnosť prenášať impulzy rôzneho typu – “informačný signál”.
- Tento signál sú schopné rozpoznávať informačné koncepty.
- Informačný signál (časová postupnosť impulzov) sa šíri v AIS. Šírením signálu (aktivácie) sa “razí cesta” pre ostatné impulzy iného typu ako sú typy entít informačného konceptu.
- Pri prenose impulzov asociáciami dochádza ku zmene vlastností asociácií.

Vlastnosti asociácií

- Väzbovosť (kovalencia) - potenciál pripojenej entity v danom čase vytvoriť asociáciu s inou entitou.
- Priepustnosť - potenciál asociácie preniesť informačný signál z jednej entity na druhú bez ohľadu na typ impulzov.
- Trvácnosť – vyjadruje opodstatnenosť existencie asociácie a príslušných entít spojených s touto asociáciou v systéme. Nízka trvácnosť entity môže mať vplyv na priepustnosť a väzbovosť.

Typy impulzov

- Pozitívny impulz - impulz, ktorý dosiahne entitu, z ktorej vychádzajú asociácie s nízkou priepustnosťou a ktorej typ je rovnaký ako typ impulzu. Tento impulz zvyšuje priepustnosť asociácie, ktorou sa impulz dostal do entity a v tejto entite zaniká.
- Neutrálny impulz – impulz, ktorý dosiahne entitu, z ktorej vychádzajú asociácie s vysokou priepustnosťou. Je prepustený ďalej všetkými asociáciami, ktoré majú nenulovú priepustnosť s pravdepodobnosťou úmernou veľkosti priepustnosti. Nemenní veľkosť priepustnosti.
- Negatívny impulz - impulz, ktorý dosiahne entitu, z ktorej vychádzajú asociácie s nízkou priepustnosťou. Nešíri sa ďalej a v tejto entite zaniká. V oblasti, ktorú impulz dosiahol sa môže vytvoriť nová entita rovnakého typu ako impulz a asociácia, ktorá vzniknutú entitu dáva do súvislosti s entitou, z ktorej impulz naposledy vyšiel.

Priepustnosť

- Je to potenciál asociácie preniesť impulz z jednej entity na druhú bez ohľadu na typ impulzu.
- Typ impulzu má ale vplyv na zmenu priepustnosti.

$$\text{thr_new} = \text{thr_old} + ((\text{maxDif} * s) * z) * f(d)$$

thr_old - stará hodnota priepustnosti

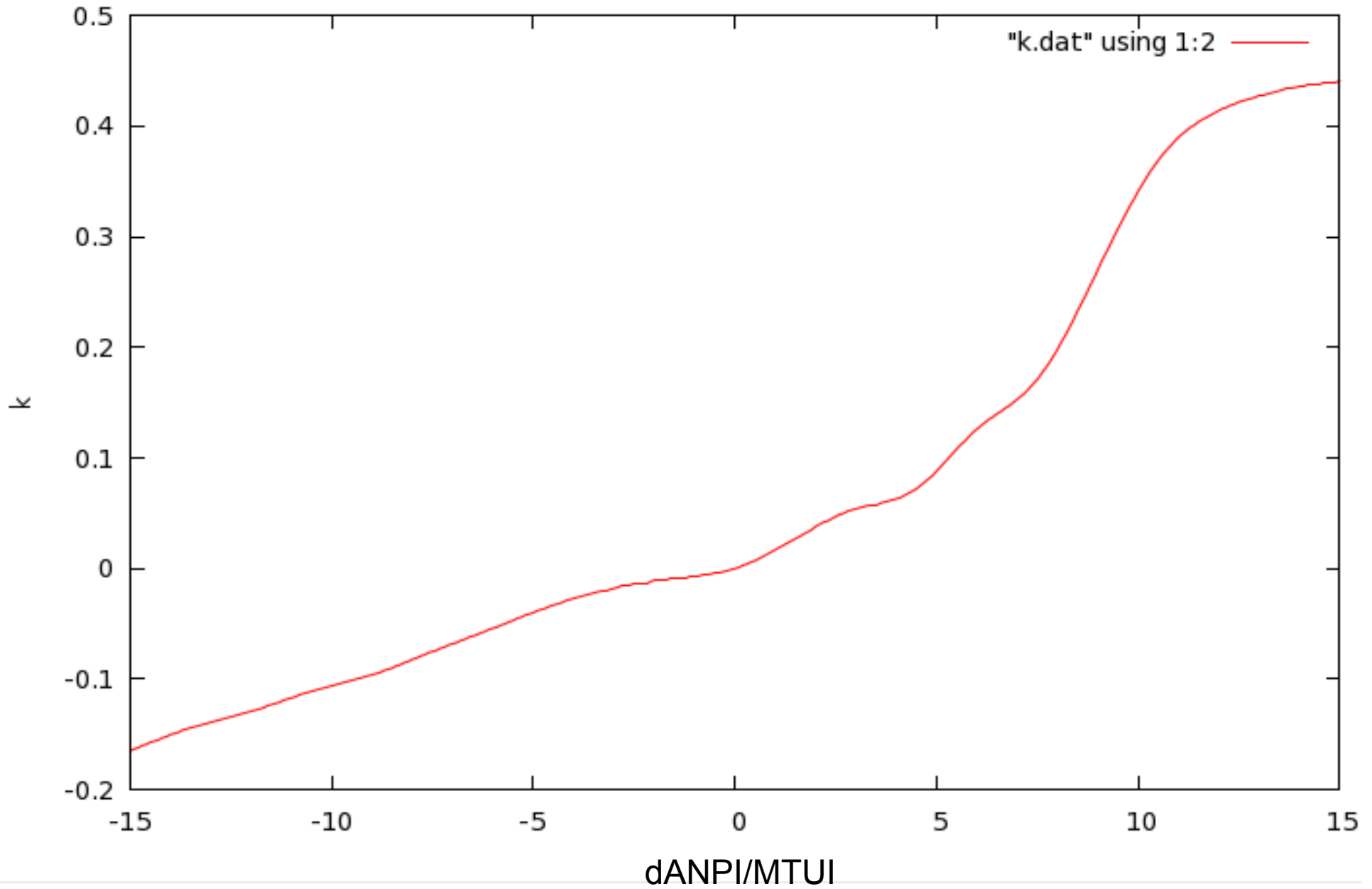
thr_new – nová hodnota priepustnosti

z(k,d) – koeficient zmeny priepustnosti (-0.15,0.3)

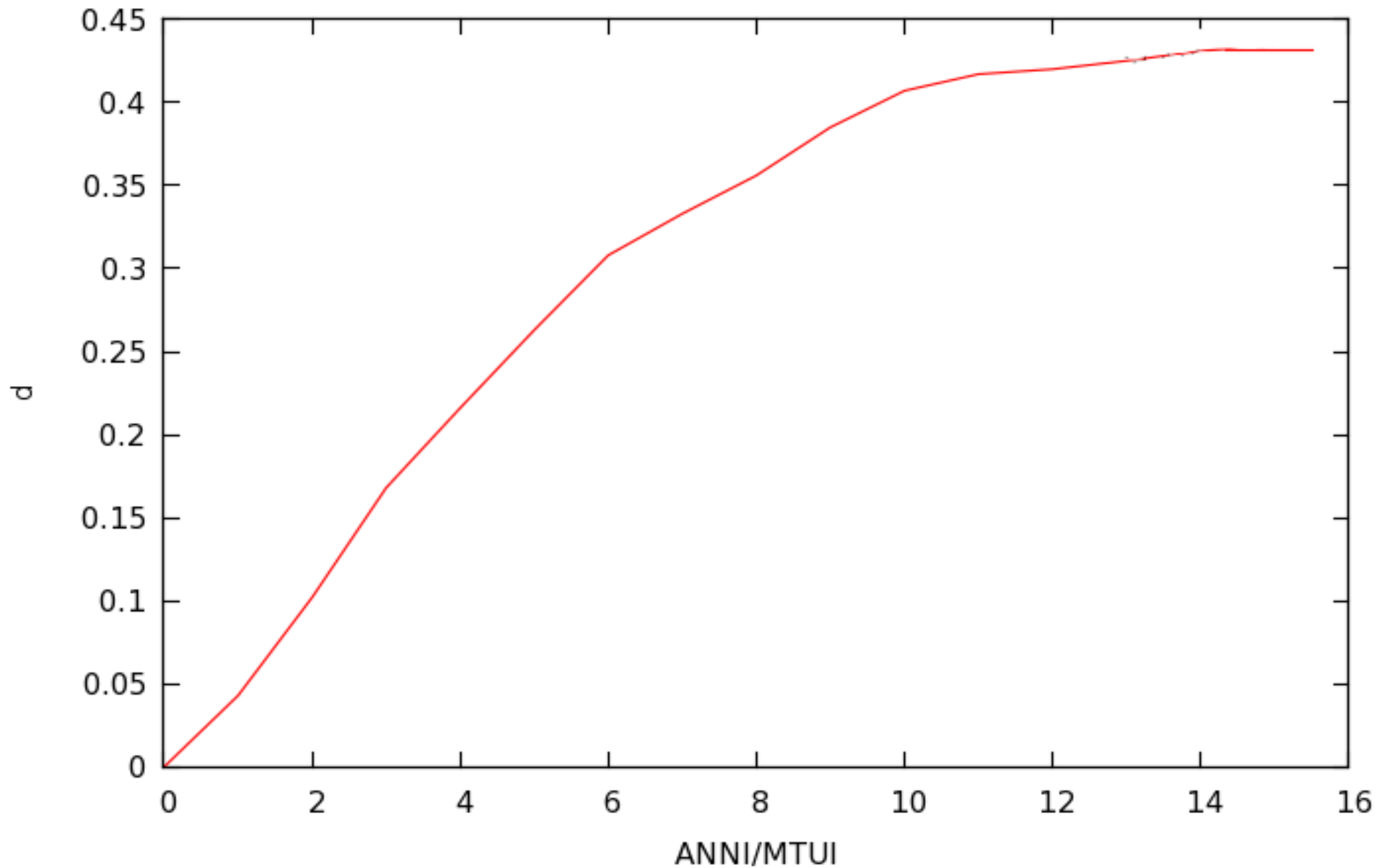
s(thr_curr) – stabilita priepustnosti

f(d) – koeficient uvažujúci trvácnosť asociácie

Priepustnost' – koeficient k

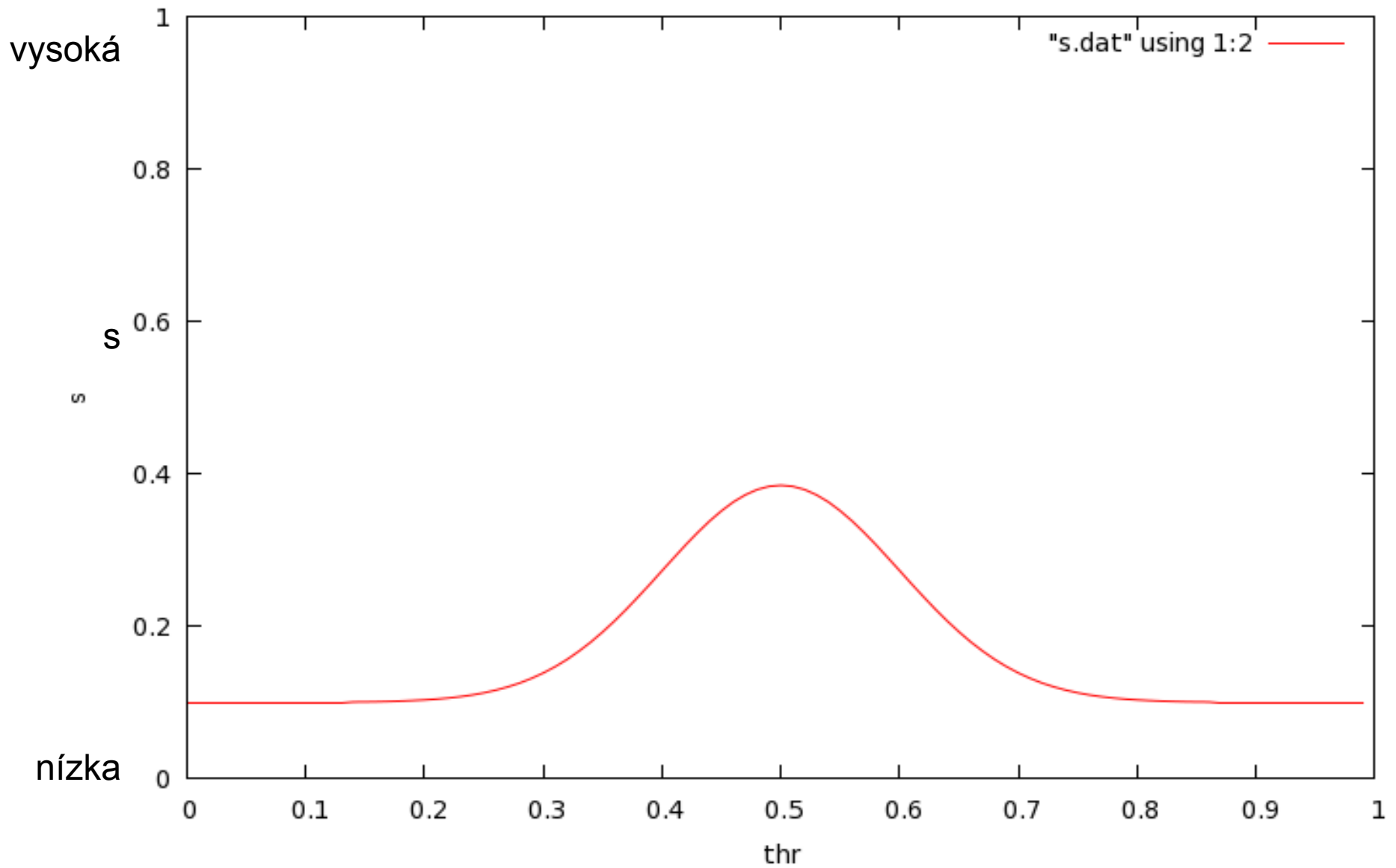


Priepustnost' – koeficient d



Stabilita priepustnosti – koeficient s

Vyjadruje “náchylnosť” priepustnosti na zmenu.

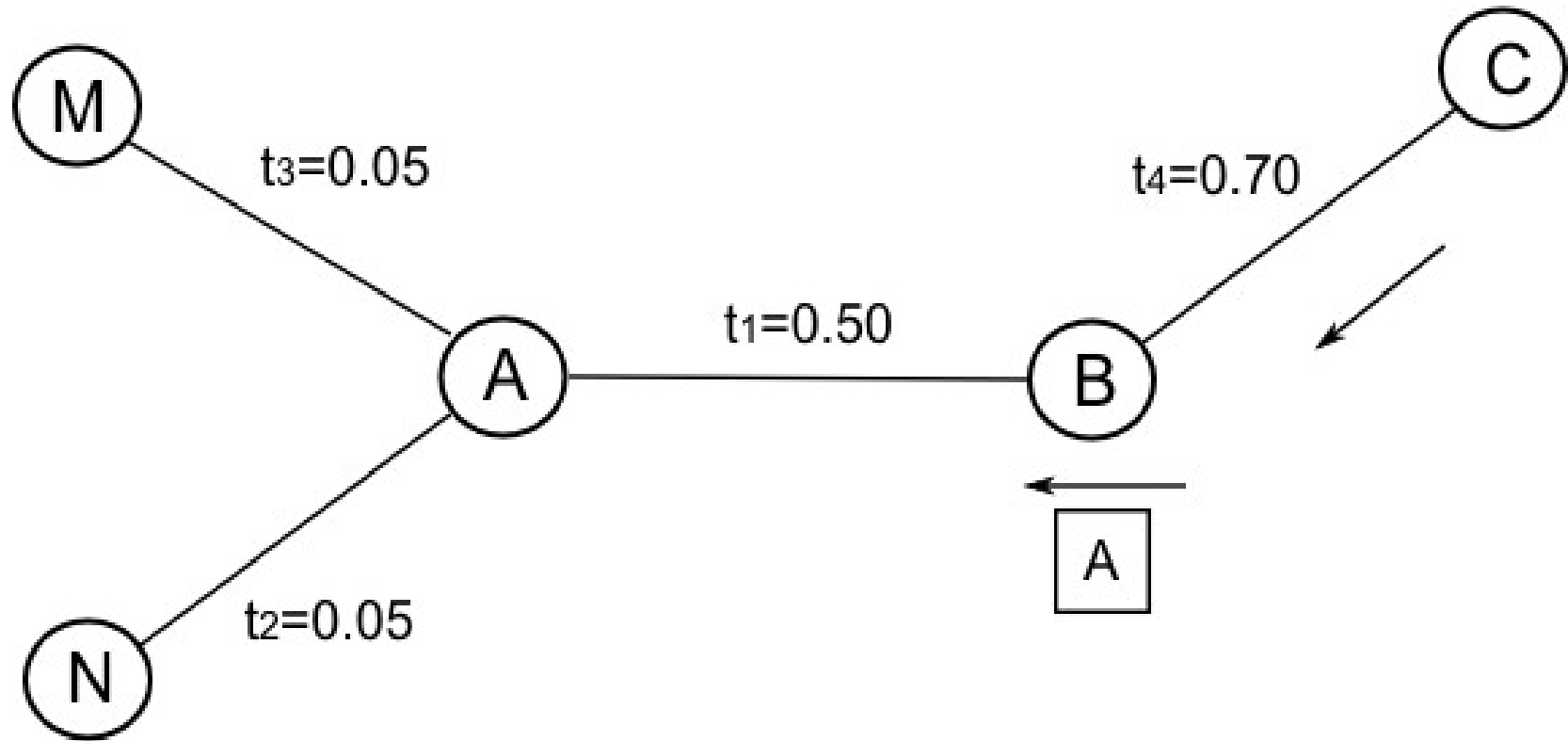


Priepustnosť - vlastnosti

- Priepustnosť stúpa, ak stúpa aj počet prešírených pozitívnych impulzov za jednotkový časový interval.
- Priepustnosť klesá pomalšie, ak sa počet prešírených pozitívnych impulzov za jednotku času nemení.
- Priepustnosť klesá rýchlejšie, ak cez asociáciu prechádzajú iba neutrálne impulzy.
- Priepustnosť klesá rýchlo, ak cez asociáciu neprechádzajú žiadne impulzy.

Príklad

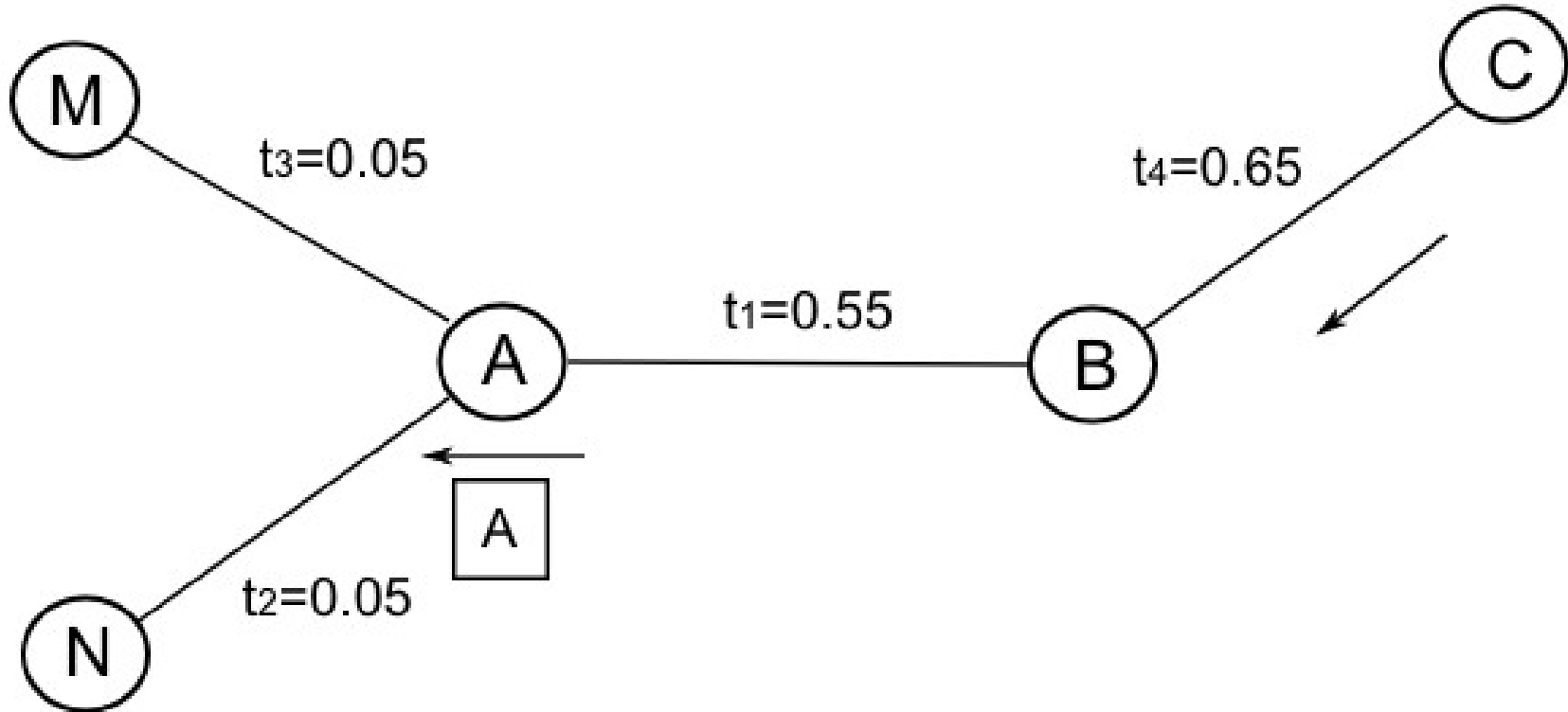
(1)



- Priepustnosť t_1 (throughput) asociácie medzi entitami A a B je 0.50
- Impulz typu A sa s pravdepodobnosťou 50% prenesie z uzla entity typu B na uzol entity typu A.

Príklad

(2)



- Impulz typu A sa preniesol na uzol entity typu A. Uzol bude s pravdepodobnosťou $p=0.5$ uvažovaný ako neutrálny impulz.
- V tomto prípade bol uvažovaný ako pozitívny impulz, teda sa zvýšila priepustnosť (throughput) t_1 .
- Impulz v tomto uzle zanikne.

Väzbovosť (kovalencia)

Najvyššia je krátko po zvýšení priepustnosti z minimálnej hodnoty alebo po výraznom náraste priepustnosti za krátky čas.

V ostatných prípadoch rýchlo klesá.

Vytvárajú sa náhodné asociácie s nízkou trvácnosťou medzi oblasťami, ktoré sú relatívne “blízko seba” medzi takými entitami, na ktoré sú pripojené asociácie s vysokou väzbovosťou.

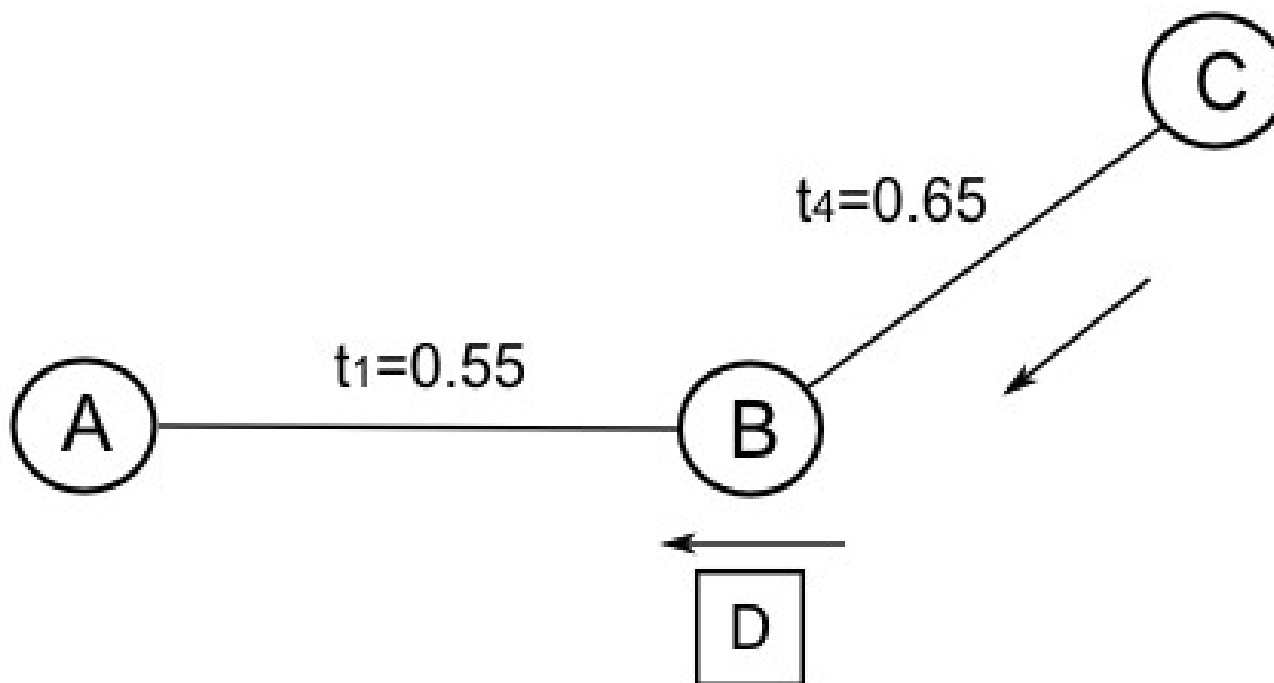
Tieto asociácie môžu byť upevnené učením.

Trvácnosť

- Trvácnosť asociácie neustále klesá s časom.
- Asociácie, ktoré majú trvácnosť nižšiu ako stanovená prahová hodnota zanikajú.
- Trvácnosť asociácie sa zvyšuje prechodom neutrálnych a pozitívnych impulzov asociáciou.
- Nízka trvácnosť asociácie môže znižovať väzbovosť alebo rýchlosť rastu priepustnosti asociácie.

Proces učenia

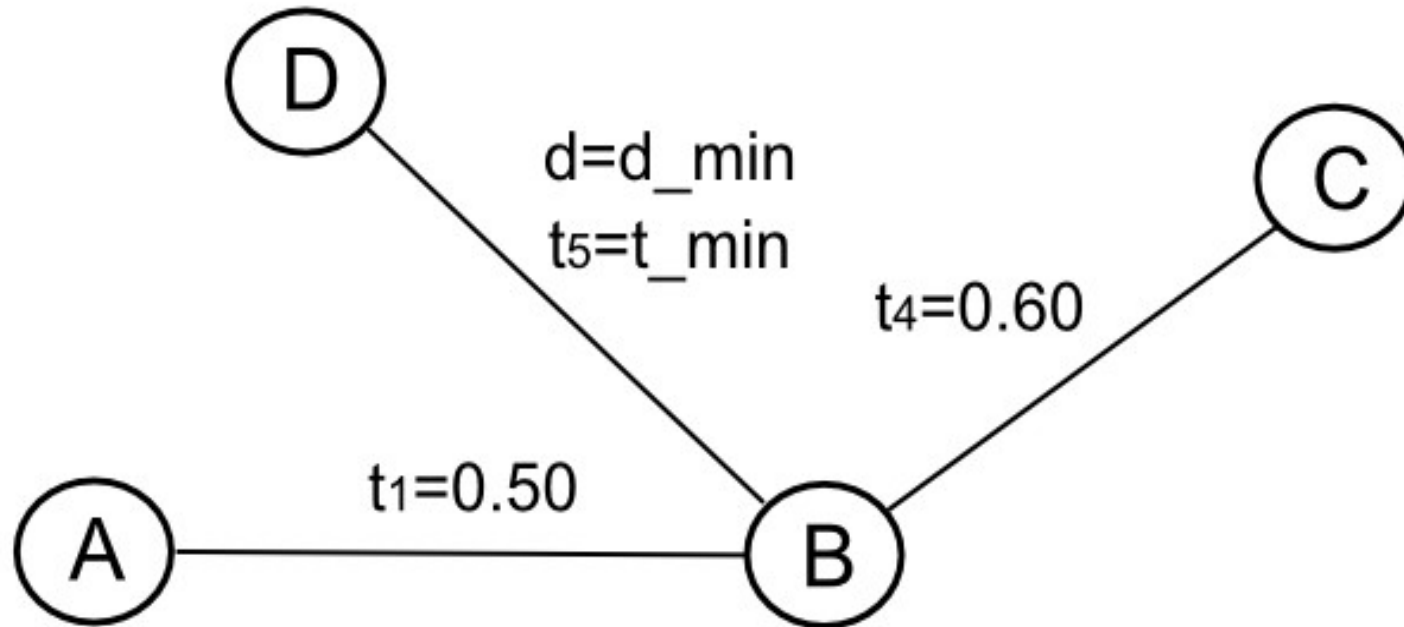
(1)



- Impulz typu D sa prešíri do uzlu entity typu A s pravdepodobnosťou 55%.
- S pravdepodobnosťou $p=1-0.55=0.45$ (45%) bude uvažovaný v entite A ako negatívny impulz.

Proces učenia

(2)



- Impulz typu D bol uvažovaný ako negatívny.
- Vytvorí sa asociácia s minimálnou trvácnosťou a priepustnosťou a nová entita rovnakého typu ako typ impulzu.
- V “blízkosti” cieľovej oblasti sa takto môže vytvoriť nový cluster (informačný koncept).

Organizácia systému

- Na najnižšej úrovni je AIS zložená z entít a asociácií.
- Entity a asociácie sú organizované do väčších celkov – informačných konceptov, môžu sa organizovať do zhlukov.
- Asociácie v rámci zhľuku alebo oblasti zhľukov môžu mať iné vlastnosti ako asociácie v iných oblastiach.
- Do siete sú pripojené receptory, efektory a pomocné moduly.

Realizácia pamäte

- Dlhodobá pamäť - trvácnosť asociácií v oblasti dlhodobej pamäte klesá veľmi pomaly. V DP sa nachádzajú hlavne entity a asociácie, ktoré reprezentujú dlhodobé preferencie systému a dôležité informácie.
- Krátkodobá pamäť - trvácnosť a priepustnosť asociácií v oblasti krátkodobej pamäte klesá rýchlo. V KP, ktoré sa vytvorili na základe krátkodobého výskytu nejakého kontextu informácií, ktoré boli v nejakom časovom úseku preložené systému.

Hierarchická distribuovaná reprezentácia informácií

Niektoré informácie a vzťahy nemusí byť vhodné vyjadrovať explicitne pomocou entity alebo informačného konceptu.

Pri hierarchickej organizácii AIS je informácia reprezentovaná pomocou viacerých hierarchicky zoskupených vrstiev informačných konceptov.

Takto je možné klasifikovať objekty aj s obrovskou kombinatorickou zložitou.

Rozpoznávanie

(1)

Na úrovni jednotlivých entít - systém dokáže rozpoznávať typy impulzov. Pri **rozpoznaní impulzu** (kladný impulz) dôjde k zvýšeniu priepustnosti asociácie.

Na úrovni informačných konceptov – pri šírení množiny impulzov v AIS dochádza k postupnej aktivácii asociácií cieľového informačného konceptu (**rozpoznanie množiny impulzov**). Pri rozpoznaní informačného konceptu sa zvýši priepustnosť aj pre ďalšie impulzy, tým sa signál cielene šíri do ďalších častí AIS. (**rozpoznanie postupností množín impulzov**).

Rozpoznávanie

(2)

Vzhľadom na štruktúru a aktuálny stav AIS a vlastnosti priepustnosti asociácií v rôznych častiach AIS je pri rozpoznávaní signálu podstatná aj frekvencia impulzov informačného signálu.

Tento jav (efekt) umožňuje rozpoznávať aj postupnosti frekvencií impulzov rovnakého typu.

To je kľúčové napríklad pri schopnosti rozpoznávať amplitúdy “analógových” signálov a vizuálne informácie.

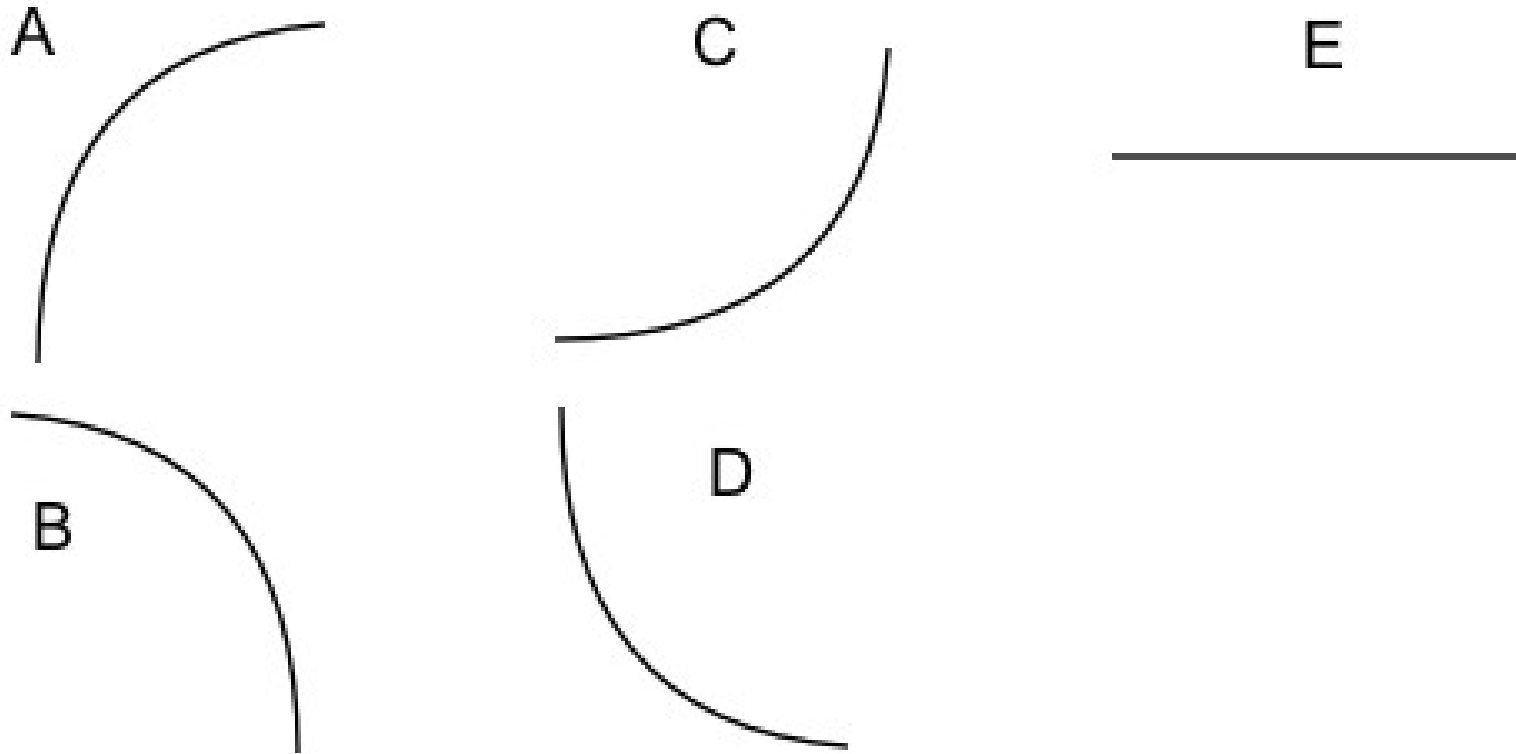
Rozpoznávanie analógového signálu (1)

Amplitúda vstupného analógového signálu je transformovaná pomocou “frekvenčnej modulácie” na postupnosť impulzov rovnakého typu, ktoré sú do siete z receptora vysielané s rôznou frekvenciou.

Adaptáciou koeficientu “k” (určuje rýchlosť zmeny trvácnosti za jednotku času) upravujeme rýchlosť klesania alebo rastu priepustnosti asociácie.

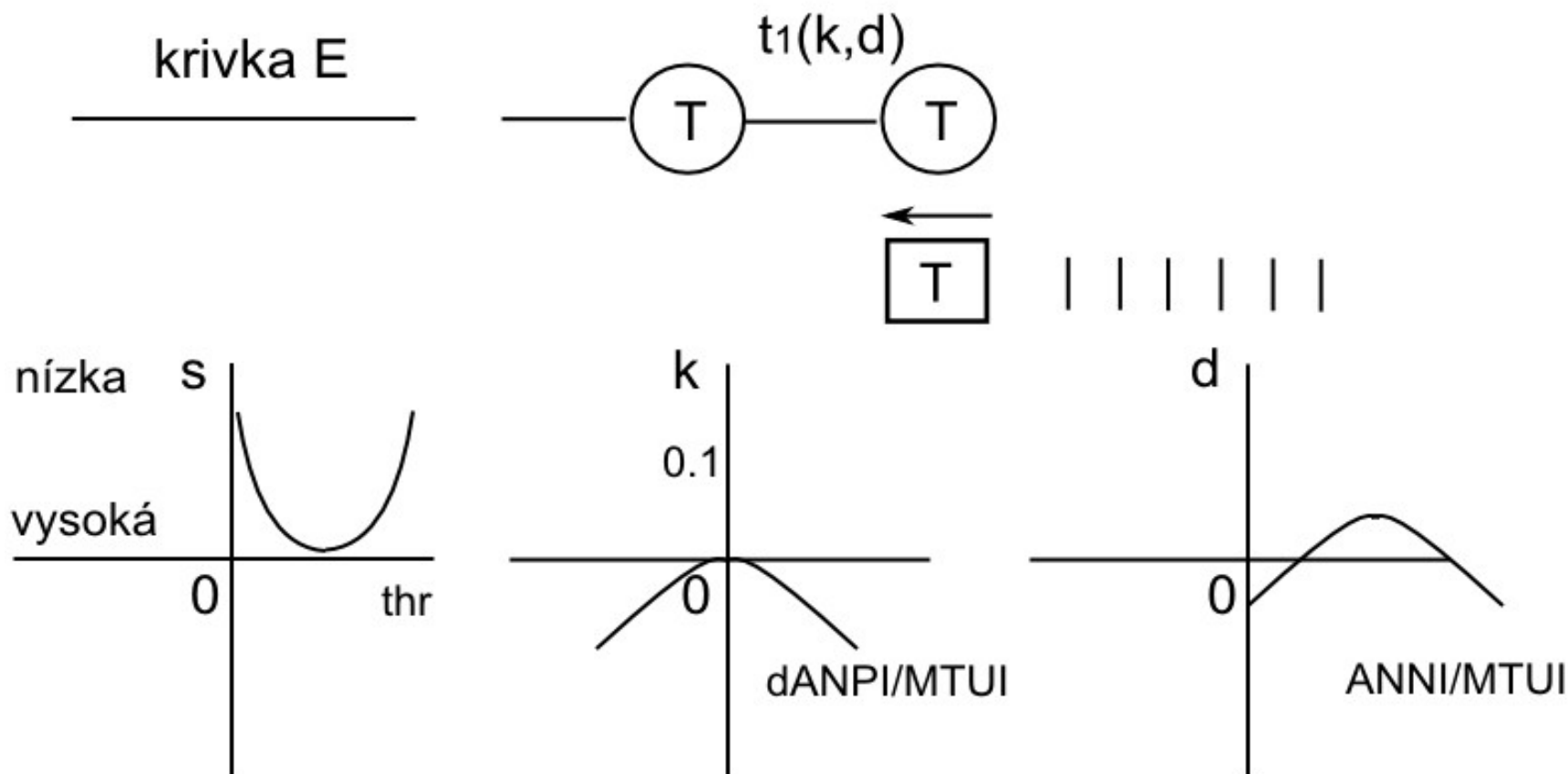
Tak možno dosiahnuť požiadavku na frekvenciu prichádzajúcich impulzov.

Rozpoznávanie analógového signálu (2)



- Každý analógový signál sa dá poskladať z postupnosti uvedených kriviek.
- Tieto krivky môžu mať rôznu rýchlosť stúpania alebo klesania.

Rozpoznávanie analógového signálu (3)



- Stabilita priepustnosti je najvyššia okolo zvolenej hodnoty.
- Zmena frekvencie impulzov v čase nemá vplyv na zmenu priepustnosti
- Konkrétna frekvencia príchodu impulzov má ale zásadný vplyv.

Rozpoznávanie obrazcov

- Určujúce sú hlavne okraje – hrany obrazcov.
- Okraje útvarov sú tvorené elementárnymi krivkami.
- Obrazce je možné uvažovať ako postupnosť elementárných kriviek – krátkych priamok, pravotočivých a ľavotočivých (aj inverzných) oblúkov.
- Oblúky a priamky ale môžeme rozpoznávať pomocou časovej postupnosti impulzov rovnakého typu podobne ako časti amplitúdy signálu.

Konštruovateľnosť asociačnej impulzovej siete

- Topológiu pozostávajúcu z entít a informačných konceptov, receptorov a efektorov je jednoduché navrhnuť.
- Vizualne a nevizualne informácie sú transformované na diskkrétne impulzy, prešírením do siete automaticky generujú v terminálnych oblastiach informačné koncepty. Takto vygenerované koncepty je možné prepojiť s inými.
- Problém neviditeľných informácií a vzťahov existuje ale aj v AIS

Implementácia systému

- Diskrétny systémový čas
- Pamätať si zrejme stačí len “aktívne” asociácie s nenulovou priepustnosťou (hashmap, hashset).
- **Netreba** prechádzať stavy všetkých prvkov AIS v jednom výpočtovom cykle, iba tých v aktívnych oblastiach.
- Trvácnosť asociácie sa ľahko môže určiť na základe rozdielu aktuálneho a času poslednej zmeny priepustnosti.
- Náhodný “clean-up” proces.

Dosiahnuté výsledky

(1)

- V súčasnosti je systém schopný:
 - reprezentovať jednoduché aj komplexné objekty a vzťahy medzi nimi
 - rozpoznávať množiny a postupnosti množín symbolov.
 - rozpoznávať amplitúdu analógového signálu a postupnosti amplitúd analógového signálu
 - učiť sa
 - adaptovať sa na aktuálny stav prostredia
 - interagovať s prostredím

Dosiahnuté výsledky

(2)

System efektívne integruje symbolický a subsymbolický prístup k reprezentácií informácií.

Je funkčne aj dátovo nezávislý od problémovej oblasti.

Realizuje “logiku”, v ktorej správnosť vykonaných akcií alebo usudzovania je určená na základe počiatočných preferencií systému a spôsobu učenia.

Činnosť systému je stochastický proces.

Ďakujem za pozornosť