

# Samooorganizující se sítě (P2P a ad-hoc sítě)

Eva Hladká

Fakulta informatiky Masarykovy univerzity

jaro 2019

# Struktura přednášky

- 1 Přehled
- 2 Překryvové sítě & P2P
- 3 Základní členění P2P systémů
  - Centralizované P2P systémy
  - Decentralizované P2P systémy
  - Hybridní P2P systémy
- 4 Bezdrátové ad-hoc sítě
  - Motivace
  - (Mobilní) Bezdrátové ad-hoc sítě
  - Bezdrátové senzorové sítě
  - MANETs vs. WSNs
  - MANETs vs. P2P
- 5 Zdroje informací

# Struktura přednášky

## 1 Přehled

## 2 Překryvové sítě & P2P

## 3 Základní členění P2P systémů

- Centralizované P2P systémy
- Decentralizované P2P systémy
- Hybridní P2P systémy

## 4 Bezdrátové ad-hoc sítě

- Motivace
- (Mobilní) Bezdrátové ad-hoc sítě
- Bezdrátové senzorové sítě
- MANETs vs. WSNs
- MANETs vs. P2P

## 5 Zdroje informací

# Překryvové sítě & P2P

- P2P síť je typicky virtuální síť utvořená nad existující sítivou infrastrukturou (např. nad sítí Internet)
  - *překryvová síť* je využita pro indexování a zjišťování sousedů (peerů) ⇒ P2P systém je tak nezávislý na topologii základové (= fyzické) sítě
  - vlastní data jsou obvykle přenášena po fyzické síti
- nový peer musí za účelem svého připojení k P2P síti získat informaci o nejméně jednom jejím členovi
  - nezbytné síťové informace: IP adresa, port, atd.
  - informace o dalších peerech mohou být získány od něj

# Překryvová síť

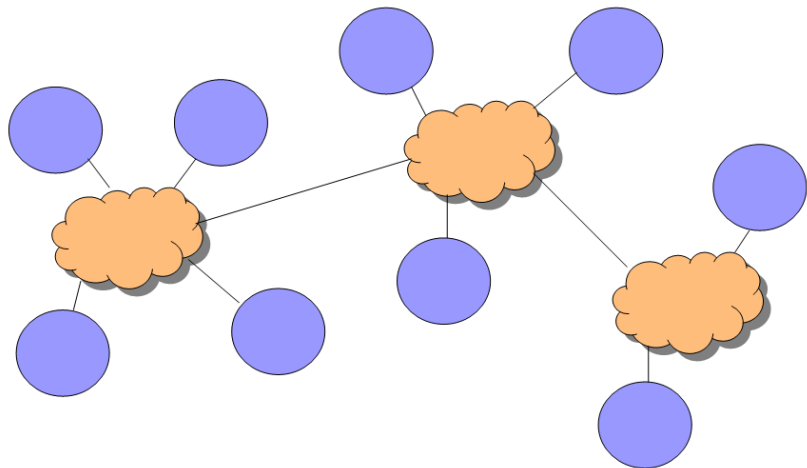


Figure: Překryvová vs. fyzická (základová) síť.

# Překryvová síť

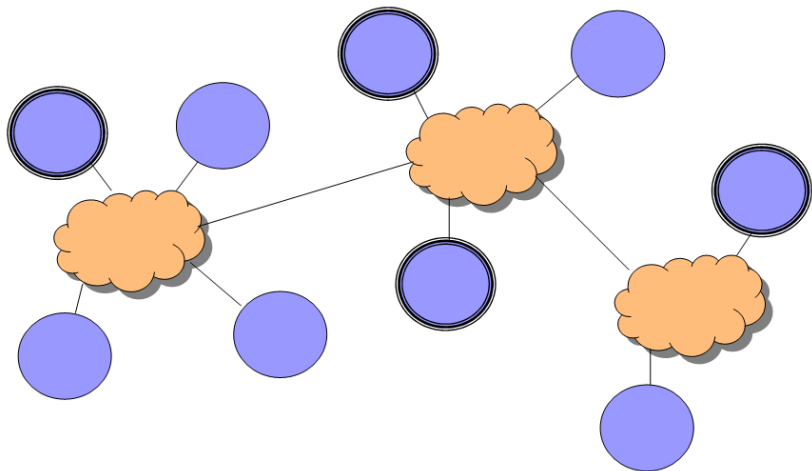


Figure: Překryvová vs. fyzická (základová) síť.

# Překryvová síť

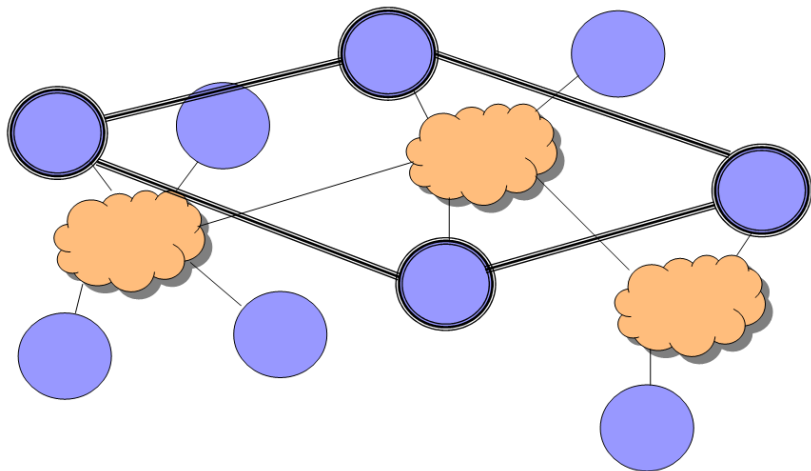


Figure: Překryvová vs. fyzická (základová) síť.

# Překryvová síť

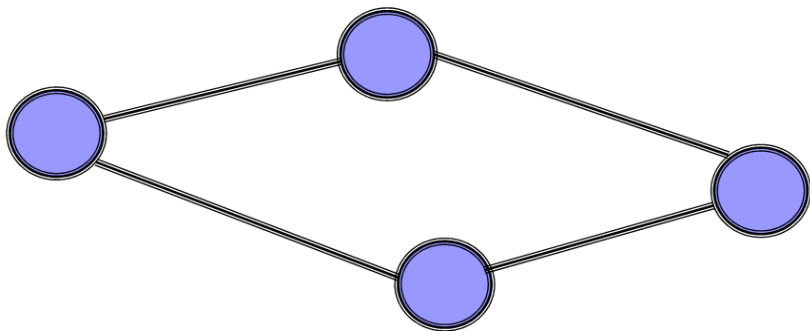


Figure: Překryvová vs. fyzická (základová) síť.



# Osnova přednášky

- 1 Přehled
- 2 Překryvové sítě & P2P
- 3 Základní členění P2P systémů**
  - Centralizované P2P systémy
  - Decentralizované P2P systémy
  - Hybridní P2P systémy
- 4 Bezdrátové ad-hoc sítě
  - Motivace
  - (Mobilní) Bezdrátové ad-hoc sítě
  - Bezdrátové senzorové sítě
  - MANETs vs. WSNs
  - MANETs vs. P2P
- 5 Zdroje informací

# Základní členění P2P systémů I.

Obecně lze P2P systémy dělit do dvou základních kategorií:

- **centralizované** – obsahují jeden nebo více centrálních serverů, které poskytují nejrůznější služby
- **decentralizované** – neobsahují žádné centrální servery
  - jejich návrh musí řešit dvě základní otázky:
    - *struktura* – plochá (flat, single tier) vs. hierarchická (multitier)
    - *topologie překryvné sítě* – nestrukturovaná vs. strukturovaná
- kromě těchto dvou existují také **hybridní** P2P systémy
  - kombinují výhody obou zmíněných architektur

# Základní členění P2P systémů II.

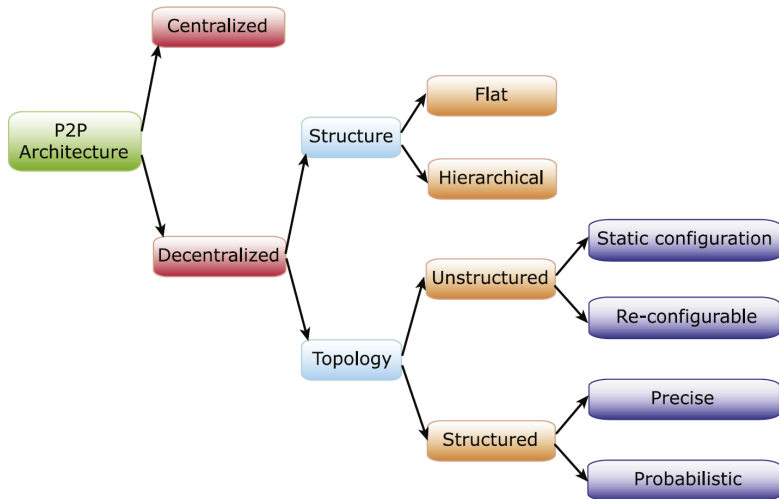


Figure: Základní členění P2P systémů.

# Základní členění P2P systémů III.

## Centralizované P2P systémy I.

### Centralizované P2P systémy

- kombinují výhody centralizovaných (klient-server) a decentralizovaných distribuovaných systémů
  - podobně jako u centralizovaných systémů obsahují jeden nebo více centrálních serverů, které uzlům P2P sítě (peerům) poskytují vyhledávací služby a koordinují akce v síti prováděné
    - peerové zasílají centrálnímu serveru dotazy na vyhledání uzlu, který obsahuje požadované zdroje
  - podobně jako u decentralizovaných systémů, pokud nějaký peer získá informaci o peerovi, který spravuje požadovaná data, komunikuje s ním napřímo
    - tj., bez účasti centrálního serveru
- *nevýhody:*
  - citlivé na útoky, obsahují tzv. *single point of failure*
  - úzké místo pro síť s velkým počtem účastníků (degradace výkonu)
  - slabá škálovatelnost a robustnost
- *příklady:*
  - vědecké výpočty – SETI@home, BOINC, Folding@home, Genome@home
  - sdílení digitálních dat – Napster, Opennext
  - další – Jabber (IM), Net-Z a StarCraft (vzdělání), atd.

# Základní členění P2P systémů III.

## Centralizované P2P systémy II.

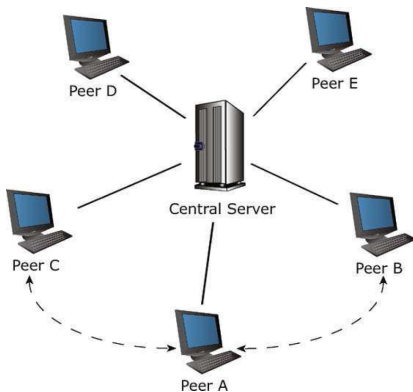


Figure: *Centralizované P2P systémy*: Peer A zasílá dotaz na seznam uzlů mající požadovaná data centrálnímu serveru. Jakmile uzel A od centrálního serveru získá požadovaný seznam uzlů splňujících jeho požadavky (tj. např. uzly B a C), provádí vlastní komunikaci napřímo, tj. bez intervence centrálního serveru.

# Základní členění P2P systémů III.

## Decentralizované P2P systémy I.

### Decentralizované (tzv. Pure) P2P systémy

- všichni peerové mají stejná práva a povinnosti
  - každý z peerů má pouze částečnou představu o celé P2P síti a poskytuje data, která mohou být relevantní pouze některým dotazům
  - ⇒ lokalizace peerů poskytujících definovaná data/služby je v decentralizovaných P2P systémech velkou výzvou
- *výhody:*
  - imunní vůči tzv. *single point of failure*
  - (obvykle) poskytují vysoký výkon, škálovatelnost, robustnost a další žádoucí výhody
- *příklady:* Gnutella, Crescendo, PAST, FreeNet, Canon, atd.

# Základní členění P2P systémů III.

## Decentralizované P2P systémy II.

Dvě dimenze návrhu decentralizovaných P2P systémů:

- **plochá (flat, single-tier)** vs. **hierarchická (multi-tier)** síťová struktura
  - *plochá struktura* → funkcionalita je rovnoměrně rozložena mezi všechny uzly sítě
  - *hierarchická struktura* → směrovací struktury sestávají z více vrstev
    - např.: národní úroveň (propojení států), úroveň států (propojení univerzit), úroveň univerzit (propojení oddělení), atd.
    - poskytuje jisté výhody (izolace chyb a bezpečnost, efektivní cacheování a využití síťového BW, atd.)

# Základní členění P2P systémů III.

## Decentralizované P2P systémy III.

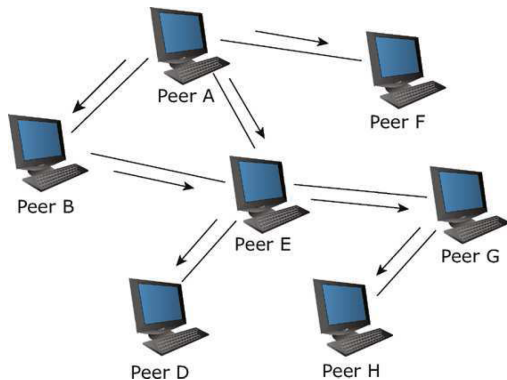
### ● **strukturovaná vs. nestrukturovaná** logická topologie

- *nestrukturovaný P2P systém* → každý z peerů je zodpovědný za svá vlastní data a drží si informace o svých susedech (dalších peerech), na které může směřovat vyhledávací dotazy
  - neexistuje žádné striktní mapování mezi identifikátory objektů a identifikátory peerů
  - ⇒ lokalizace dat je výzvou (je obtížné přesně určit, který z peerů spravuje vyhledávaná data)
  - ⇒ neexistuje žádná garance na kompletnost odpovědi (pokud není prohledána celá síť)
  - ⇒ neexistuje žádná garance na dobu potřebnou na odpověď (kromě nejhoršího možného případu, kdy musí být prohledána celá síť)
- *strukturovaný P2P systém* → lokace dat je pod kontrolou určité, předem definované strategie (obecně, *distribuované hashovací tabulky – DHT*)
  - existuje mapování mezi daty a peery, na kterých jsou daná data uložena
  - ⇒ tyto systémy mohou poskytnout garanci (přesnou či pravděpodobnostní) na dobu nezbytnou pro nalezení odpovědi
  - ⇒ nicméně, typicky na úkor vyšší reže (nutno spravovat dodatečné informace)
- (existují také systémy kombinující strukturovaný a nestrukturovaný přístup)



# Základní členění P2P systémů III.

## Decentralizované P2P systémy IV.



*Figure: Nestruturované decentralizované P2P systémy:* (Peer A požaduje určitá data, která jsou uložena na peeru D a peeru H) Požadavek je broadcastován všem sousedům peera A, poté všem jejich sousedům, atd., až je doručen všem peerům v P2P síti.

# Základní členění P2P systémů III.

## Decentralizované P2P systémy V.

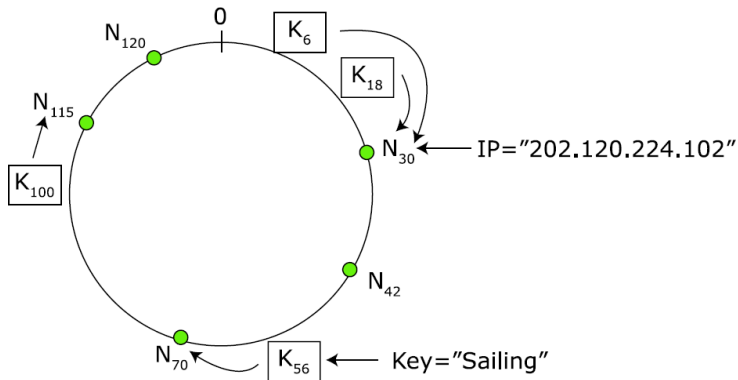


Figure: *Strukturované decentralizované P2P systémy*: Strukturovaná síť Chord hashující datové položky a identifikátory uzlů do logické kružnice. Datové položky tak musí být umístěny na pevně daném uzlu (v závislosti na jejich hashovaném identifikátoru).

# Základní členění P2P systémů III.

## Hybridní P2P systémy I.

### Hybridní P2P systémy

- hlavní výhodou centralizovaných P2P systémů jsou rychlé a přesné odpovědi na vyhledávací dotazy
  - ALE na úkor škálovatelnosti sítě
- hlavní výhodou decentralizovaných P2P systémů je škálovatelnost
  - ALE na úkor delšího času nezbytného pro vyhledání požadované informace
- ⇒ *Hybridní P2P systémy*:
  - pro udržení škálovatelnosti neexistují žádné centrální servery
  - nicméně, některé peer uzly jsou vybrány a prohlášeny za servery sloužící dalším peerům
    - = tzv. *super peers* či *super nodes*
  - ⇒ lokalizace dat je pak prováděna kombinací decentralizovaného a centralizovaného přístupu (dotazem na super peer uzly)

# Základní členění P2P systémů III.

## Hybridní P2P systémy II.

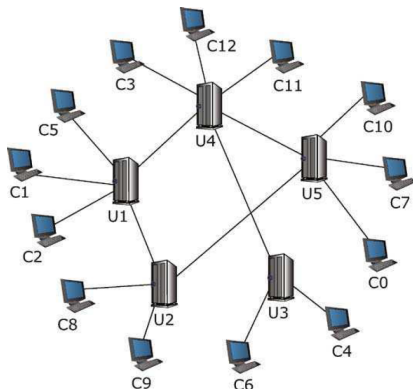


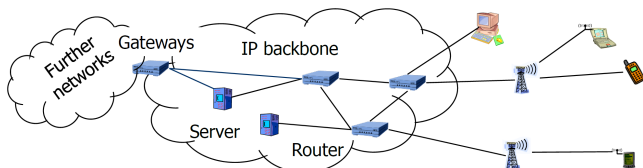
Figure: *Hybridní P2P systémy*: Požadavek na vyhledání určité informace je nejprve směrován na tzv. *superpeer* (*ultrapeer*) uzel nadřazený dotazujícímu se uzlu; daný uzel ve spolupráci s ostatními superpeer uzly vyhledá uzel, který požadovaná data spravuje, a dotazující se uzel na něj přesměruje.

# Osnova přednášky

- 1 Přehled
- 2 Překryvové sítě & P2P
- 3 Základní členění P2P systémů
  - Centralizované P2P systémy
  - Decentralizované P2P systémy
  - Hybridní P2P systémy
- 4 Bezdrátové ad-hoc sítě
  - Motivace
  - (Mobilní) Bezdrátové ad-hoc sítě
  - Bezdrátové senzorové sítě
  - MANETs vs. WSNs
  - MANETs vs. P2P
- 5 Zdroje informací

# Bezdrátové sítě I.

- *Požadavek: jak přistupovat k výpočetním a komunikačním zdrojům/službám z mobilních zařízení?*
  - ⇒ bezdrátové sítě
- *bezdrátové sítě* – tradičně založeny na tzv. *buněčné infrastruktuře*
  - dané území, které má být pokryto bezdrátovým signálem, je rozděleno do tzv. buněk
  - každá z buněk je pak pokryta jednou (základovou) stanicí
    - základové stanice jsou mezi sebou propojeny drátovou sítí
  - mobilní uzly se základovými stanicemi komunikují bezdrátově
  - veškerá komunikace mezi mobilními uzly je směrována skrze základové stanice (a následně i drátovou sítí)
  - podpora mobility je dosažena přepínáním mobilního klienta mezi základovými stanicemi
  - např., GSM, UMTS, WLAN, ...



## Bezdrátové sítě II.

- co však dělat, když:
  - není žádná infrastruktura dostupná? (např., v oblastech živelných katastrof, záchranných operací, atd.)
    - např. hurikán Cathrina (2005) poničil rozsáhlé oblasti New Orleans včetně komunikačních sítí
  - je příliš drahé infrastrukturu vybudovat? (např. vzdálená/rozsáhlá místa, staveniště, atd.)
  - není dostatek času na její vybudování? (např. vojenské operace)
- ⇒ **Wireless Ad-hoc Networks**
  - snaží se vybudovat komunikační síť bez nutnosti vybudované infrastruktury, pouze s využitím *síťových schopností účastníků*
  - *ad-hoc síť* = síť konstruovaná na požádání pro specializované účely
    - termín ad-hoc latinsky značí pro tento účel

# Bezdrátové ad-hoc sítě

## Bezdrátové ad-hoc sítě

- kolekce autonomních uzlů, které spolu komunikují skrze jimi zformovanou bezdrátovou multihop síť, přičemž tato síť je spravována/udržována decentralizovaným způsobem
  - každý z uzlů v síti vystupuje jak jako *koncový uzel*, tak jako *síťový směrovač*
  - řízení zformované sítě je rozděleno mezi participující uzly
  - topologie zformované sítě je obecně dynamická
    - konektivita mezi uzly se může v čase měnit v závislosti na odchodech existujících či příchodech nových uzlů, případně v závislosti na mobilitě uzlů
    - ⇒ je zapotřebí efektivních směrovacích protokolů, které uzlům umožní efektivně komunikovat skrze multihop cesty
- tyto sítě zahrnují mnoho komplexních problémů ⇒ existuje v nich celá řada otevřených vědeckých problémů
  - bez centrální organizace se totiž všechny mechanismy stávají obtížnějšími



# Bezdrátové ad-hoc sítě

## Jednoduchý příklad



Figure: Jednoduchý příklad: notebooky v konferenční místnosti – tzv. single-hop ad-hoc sítě (všechny síťové uzly jsou navzájem v dosahu přímé komunikace).

# Bezdrátové ad-hoc sítě

## Příklad multihop sítě

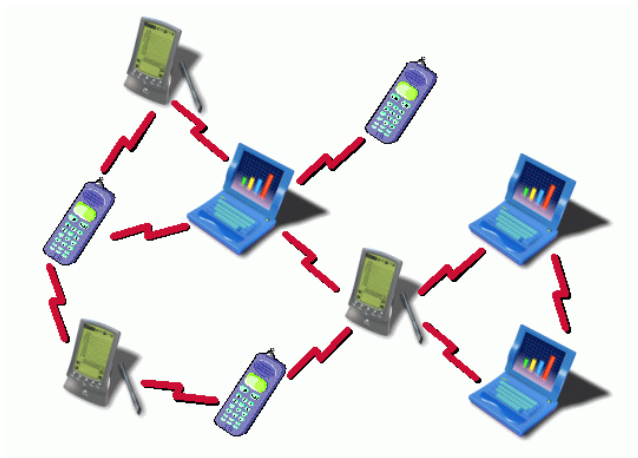


Figure: Příklad multihop ad-hoc sítě.

# Bezdrátové ad-hoc sítě

## Výhody

- velmi rychlé vybudování
  - není potřeba táhnout žádné dráty/kabely za účelem budování infrastruktury
- odolnost
  - neobsahují žádný *single point of failure* (jako např. základovou stanici)
- efektivnější využívání rádiového spektra než u buněčných (infrastrukturních) sítí
  - každý z uzlů může komunikovat s kterýmkoliv jiným (v jistých případech dokonce i současně), takže mohou lépe využít dostupné přenosové kapacity

# Bezdrátové ad-hoc sítě

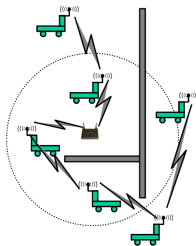
## Problémy/Výzvy

- problémy vyvstávají díky:
  - neexistenci centrální entity organizující participující uzly
    - participující uzly se tak musí organizovat samostatně ⇒ *samoorganizace*
  - omezenému dosahu bezdrátové komunikace
    - data tak musí být doručována po cestách zahrnujících více uzlů
    - ⇒ jsou nezbytné mechanismy pro dynamickou identifikaci a správu směrovacích cest
  - mobilitě uzlů
    - síťové uzly se mohou pohybovat
    - kvalitu sítě lze hodnotit podle rychlosti adaptace na změny v topologii
    - ⇒ **Mobilní ad-hoc sítě (Mobile Ad-hoc Networks, MANETs)**
- mimo jiné musí být adresovány následující otázky:
  - *řízení přístupu k médiu (medium access control)* – jelikož neexistuje základová stanice, která by určovala oprávnění k přístupu ke sdílenému médiu, musí být toto rozhodováno distribuovaným způsobem
  - *směrování* – hledání cest mezi komunikujícími uzly

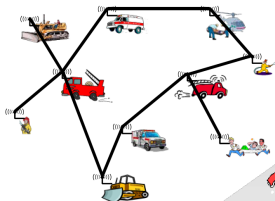
# (Mobilní) Bezdrátové ad-hoc sítě

## Možné aplikace

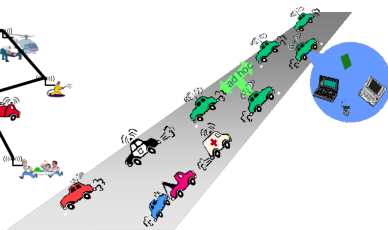
Factory floor automation



Disaster recovery



Car-to-car communication



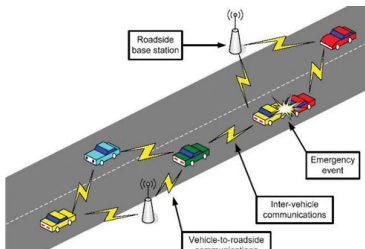
- hledání prázdných parkovacích míst ve městech (bez dotazů na centrální server), vyhýbání se dopravním zácpám, atd. (= VANETs)
- záchranné operace při přírodních katastrofách
- zasíťování osobních zařízení (hodinky, brýle, PDA, medicínské přístroje, ...)
- vojenské operace: komunikace mezi tanky, vojáky, ...
- kolaborativní a distribuované výpočty
- ...

# (Mobilní) Bezdrátové ad-hoc sítě

## Dopravní ad-hoc sítě (Vehicular Ad-hoc Networks, VANETs)

### Dopravní ad-hoc sítě (Vehicular Ad-hoc Networks, VANETs)

- technologie, která využívá pohybujících se aut jako uzlů/směrovačů pro vytvoření mobilní sítě
  - auta se mohou vzájemně propojovat a spolu komunikovat (pokud jsou v dosahu svých bezdrátových signálů) a vytvářet tak komunikační síť s velkým rozsahem
- v porovnání s MANETy, kde se uzly pohybují nepředvídatelným způsobem, se uzly VANET sítě (tj. auta) pohybují organizovaným způsobem (většinou pouze po cestách :-))
  - lze tak navíc poměrně přesně popsat interakce se silničním vybavením
  - ⇒ možné využití specializovaných/specifických (a tudíž i efektivnějších) směrovacích protokolů



# (Mobilní) Bezdrátové ad-hoc sítě

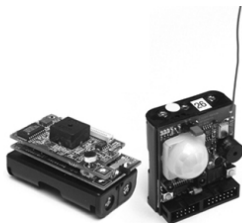
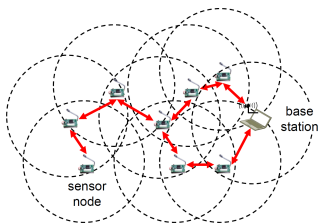
## Porovnání s infrastrukturními sítěmi

|                   | <b>Infrastructure-based network</b>   | <b>Ad hoc network</b>                           |
|-------------------|---|---|
| Prerequisites     | Pre-deployed infrastructure, e.g. routers, switches, base stations, servers | None  |
| Node properties   | End system only   | Duality of end system and network functions     |
| Connections       | Wired or wireless   | Usually wireless                                |
| Topology          | Outlined by the pre-deployed infrastructure                                 | Self-organized topology maintained by the nodes |
| Network functions | Provided by the infrastructure  | Distributed to all participating nodes          |

Figure: Srovnání infrastrukturních a ad-hoc sítí.

# Bezdrátové senzorové sítě

- doposud představené sítě interagovaly (skrze nejrůznější zařízení) s *lidmi*
- alternativní koncept:
  - místo interakce s lidmi interakce s **prostředím**
    - síť je zasazena do určeného prostředí (náhodné či pravidelné rozložení)
    - uzly těchto sítí jsou vybaveny senzorem/ovládacím prvkem pro měření(sledování)/ovládání daného prostředí
    - uzly zpracovávají získané informace a vzájemně bezdrátově komunikují
  - ⇒ *Bezdrátové senzorové sítě (Wireless Sensor Networks, WSNs)*
    - případně *Bezdrátové senzorové & ovládací sítě (Wireless Sensor & Actuator Networks, WSANs)*





# Bezdrátové senzorové sítě

## Příklady aplikací

### Záchranné akce

- např. rozhození senzorů na hořící objekt
  - každý z uzlů měří teplotu okolí
  - tímto lze získat teplotní mapu prostředí

### Monitoring prostředí

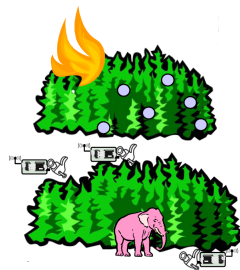
- např. senzorové uzly pro sledování přirozeného zvířecího prostředí
  - Great Duck Island, ZebraNet, atd.

### Precizní zemědělství

- umělé přihnojování/zavlažování, atp. pouze v místech, kde je skutečně zapotřebí

### Inteligentní budovy, mosty

- redukce energetického plýtvání udržováním správné vlhkosti, ventilace, klimatizace
  - vyžaduje měření obsazenosti místností, teploty, toku vzduchu, atp.
- monitoring mechanického namáhání po zemětřeseních



# Bezdrátové sensorové sítě

## Důležitost efektivního využívání energie

- často (avšak ne vždy) participující uzly (nejen sensorových sítí) čerpají energii z bateriového zdroje
- je tak vhodné udržet co nejdelší časovou dostupnost:
  - individuálních uzlů/zařízení
  - sítě jako celku
    - obvykle však nejsou aplikace závislé na dostupnosti všech jednotlivých uzlů, pokud je globální funkcionalita celé sítě stále dostupná
- využití síťových protokolů tak musí brát v úvahu omezenou energii síťových prvků a chovat se energeticky úsporně
  - využívat cesty, které představují nízkou energetickou spotřebu (*energie per bit*)
  - brát v úvahu dostupnou kapacitu baterií využívaných síťových prvků
  - Otázka: Jak řešit konflikty mezi rozdílnými optimalizacemi?
- lze také využít nějakou z forem dobíjení (solární články, získávání energie z prostředí, atp.)

# MANETs (VANETs) vs. WSNs

## *Mnoho podobností:*

- všechny sítě silně spoléhají na samoorganizující mechanismy pro správu vytvořené topologie
- všechny sítě se musí vypořádat s omezenou zásobou energie na připojených zařízeních
  - důležitou roli tak hraje zejména energetická efektivnost využitých algoritmů a mechanismů
- všechny sítě využívají bezdrátovou multi-hop komunikaci

## *Mnoho rozdílů:*

| Resources and properties | MANET   | WSN      |
|--------------------------|---------|----------|
| Available energy         | High    | Low      |
| Processing power         | High    | Low      |
| Memory and storage       | High    | Low      |
| Density and scale        | Low     | High     |
| Mobility                 | High    | Limited* |
| Heterogeneity            | Medium* | Low*     |
| Varying user demands     | High    | Low      |

\* Depending on the application scenario

# MANETs vs. P2P systémy I.

*Bezdrátové ad-hoc sítě mají také mnoho podobností s P2P systémy:*

- stejné paradigma
- samoorganizující se síť
- dynamická topologie
- zodpovědnost za směrování dotazů v distribuovaném prostředí
- neexistence centrální spravující entity

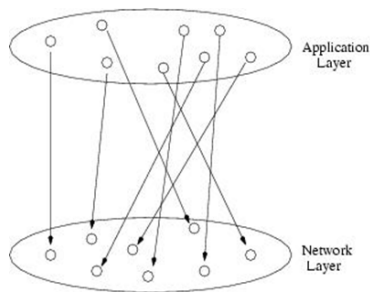
*Nicméně, mají i mnoho rozdílů →*

## MANETs vs. P2P systémy II.

| Difference                          | P2P Network                                  | MANET   |
|-------------------------------------|--|---|
| Motivation for creating the network | Logical infra structure to provide a service | A physical infra-structure to provide connectivity  |
| Connection Between two nodes        | Fixed medium and direct                      | Wireless and indirect                               |
| Connection confidence               | High (physical connections)                  | Low (wireless connections)                          |
| Peer location                       | Any Internet point                           | Restricted area                                     |
| Structure                           | Physical apart from logical structure        | Physical structure corresponds to logical structure |
| Routing                             | reactive                                     | Proactive, reactive                                 |
| Peer behavior                       | Fixed  | Mobile  |
| Broadcast                           | Virtual, multiple unicasts                   | Physical, to all nodes in transmission range area   |

## MANETs vs. P2P systémy III.

- ⇒ MANETy jsou tak spíše *platformou pro P2P aplikace*
- nicméně, existující přístupy/mechanismy pro P2P aplikace vybudované nad Internetem nelze pro P2P aplikace vybudované nad MANETy přímočaře využít:
  - sousední uzly na aplikační úrovni (z P2P pohledu) nemusí nezbytně nutně být sousedy na síťové úrovni (z pohledu MANETů)
- ⇒ pro **efektivní** využití P2P aplikací nad MANETy tak musí být existující řešení P2P sítí podrobeny důkladným modifikacím (tak, aby byly přizpůsobeny specifikům MANETů)



# Osnova přednášky

- 1 Přehled
- 2 Překryvové sítě & P2P
- 3 Základní členění P2P systémů
  - Centralizované P2P systémy
  - Decentralizované P2P systémy
  - Hybridní P2P systémy
- 4 Bezdrátové ad-hoc sítě
  - Motivace
  - (Mobilní) Bezdrátové ad-hoc sítě
  - Bezdrátové senzorové sítě
  - MANETs vs. WSNs
  - MANETs vs. P2P
- 5 Zdroje informací

## P2P: Zdroje informací

### FI kurzy:

- PA159: Počítačové sítě a aplikace I. (doc. Hladká)
- PB165: Grafy a sítě (prof. Matyska, doc. Hladká, doc. Rudová)
- PA128: Similarity Searching in Multimedia Data (prof. Zezula)

### Literatura:

- O. H. Vu at al. *Peer-to-Peer Computing: Principles and Applications*. Springer, 2010
- Milojevic et al. *Peer-to-Peer Computing*. HP Labs, 2002
- D. C. Verma. *Legitimate Applications of P2P Networks*. Wiley, 2004
- X. Shen, H. Yu, J. Buford, M. Akon. *Handbook of Peer-to-Peer Networking*. Springer, 2010
- J. Buford, H. Yu, E. K. Lua. *P2P Networking and Applications*. Morgan Kaufmann, 2009



# Ad-hoc, MANET: Zdroje informací

## FI kurzy:

- PA159: Počítačové sítě a aplikace I. (doc. Hladká)
- PA151: Soudobé počítačové sítě (doc. Staudek)

## Literatura:

- Falko Dressler: *Self-Organization in Sensor and Actor Networks*. John Wiley & Sons, 2007.
- Jon S. Wilson: *Sensor technology handbook*. Newnes, 2005.
- Ananthram Swami: *Wireless sensor networks: signal processing and communications perspectives*. John Wiley & Sons, 2007.
- Holger Karl, Andreas Willig: *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. Wiley-Interscience, 2007.
- Amiya Nayak, Ivan Stojmenović: *Wireless Sensor and Actuator Networks: Algorithms and Protocols for Scalable Coordination and Data Communication*. Wiley-Interscience, 2009.