

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

Eva Hladká

Fakulta informatiky Masarykovy univerzity

jaro 2024

# 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

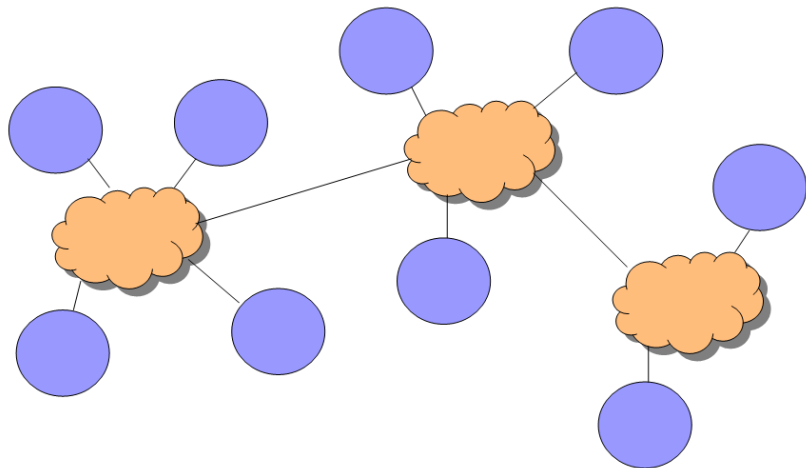


Figure: Překryvová vs. fyzická (základová) síť.

# Překryvová síť

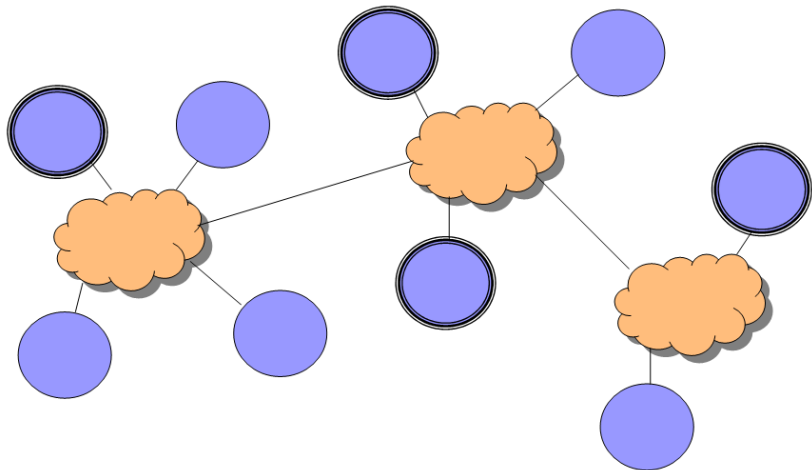


Figure: Překryvová vs. fyzická (základová) síť.

# Překryvová síť

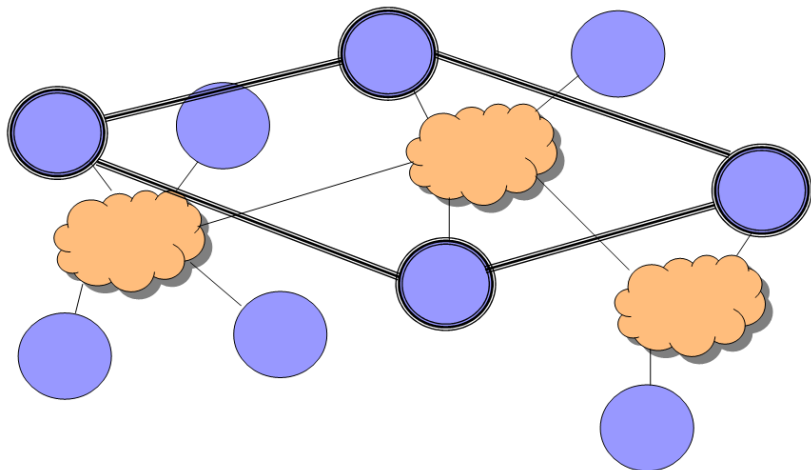


Figure: Překryvová vs. fyzická (základová) síť.

# Překryvová síť

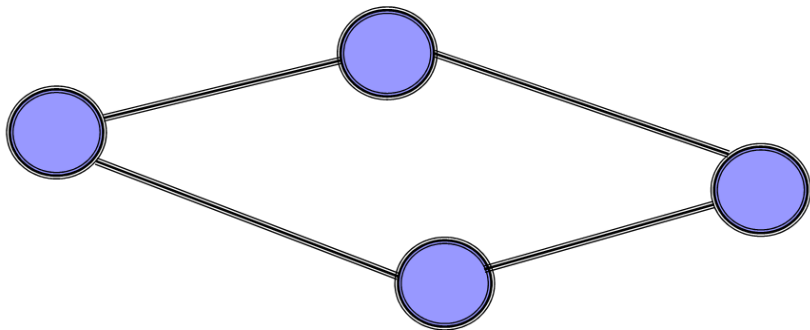


Figure: Překryvová vs. fyzická (základová) síť.



# 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.

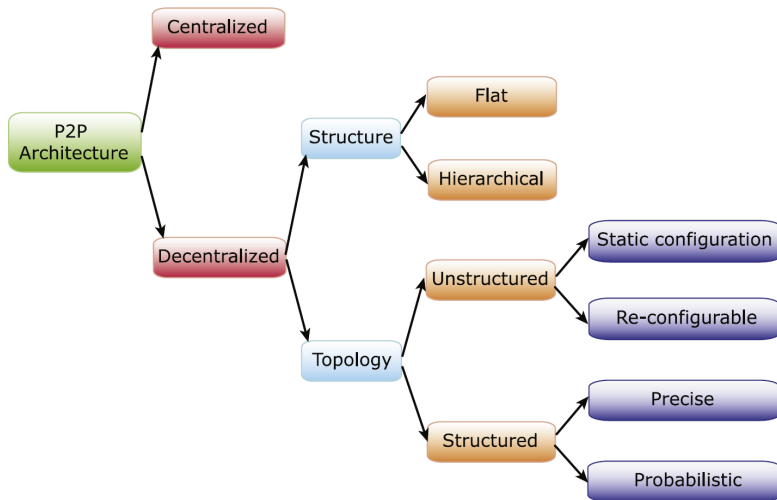


Figure: Základní členění P2P systémů.

# Základní členění P2P systémů III.

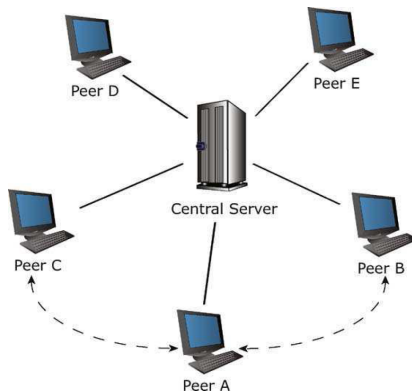
## Centralizované P2P systémy I.

### 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.

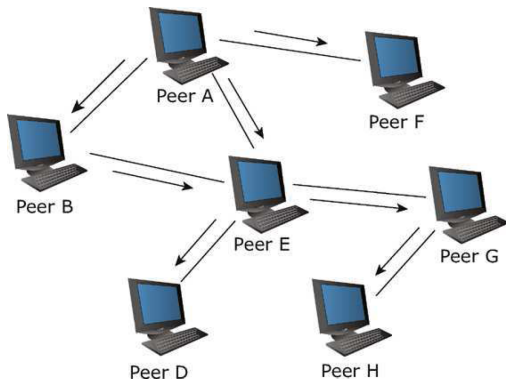
## Decentralizované P2P systémy III.

- **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:** *Nestrukturované 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.

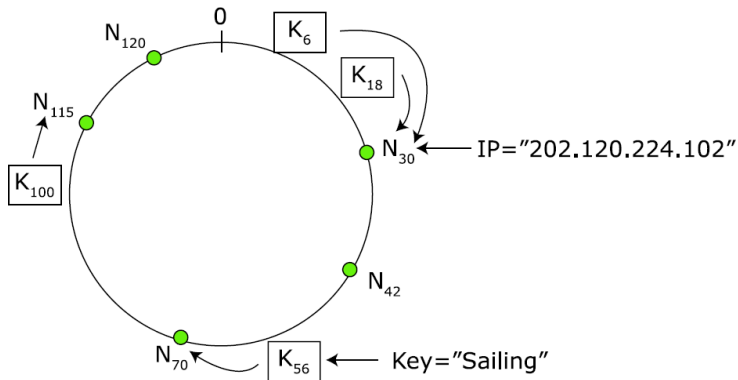


Figure: *Strukturované decentralizované P2P systémy*: Strukturovaná síť Chord hashující datové položky a identifikátory uzlů do logické kružnice. Datové položky tak musí být umístěny na pevně daném uzlu (v závislosti na jejich hashovaném identifikátoru).

# 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.

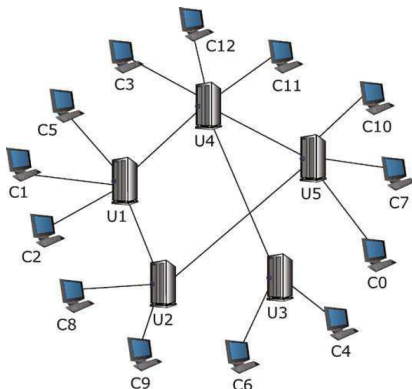


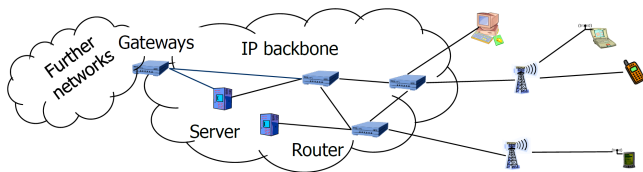
Figure: *Hybridní P2P systémy*: Požadavek na vyhledání určité informace je nejprve směrován na tzv. *superpeer (ultrapeer)* uzel nadřazený dotazujícímu se uzlu; daný uzel ve spolupráci s ostatními superpeer uzly vyhledá uzel, který požadovaná data spravuje, a dotazující se uzel na něj přesměruje.

# 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

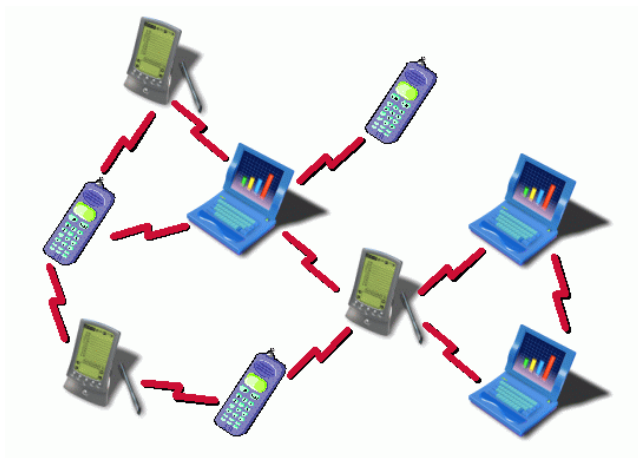


Figure: Příklad multihop ad-hoc sítě.

# 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

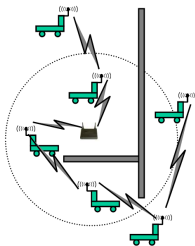
## Problémy/Výzvy

- 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 médium (medium access control)* – jelikož neexistuje základová stanice, která by určovala oprávnění k přístupu ke sdílenému médium, musí být toto rozhodováno distribuovaným způsobem
  - *směrování* – hledání cest mezi komunikujícími uzly

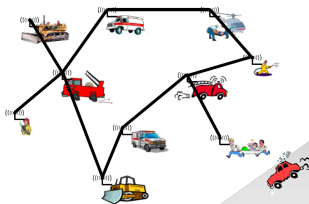
# (Mobilní) Bezdrátové ad-hoc sítě

## Možné aplikace

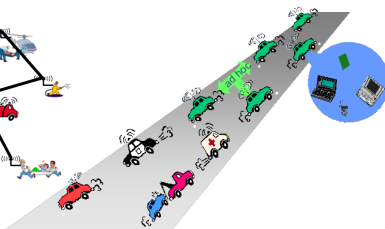
### Factory floor automation



### Disaster recovery



### Car-to-car communication



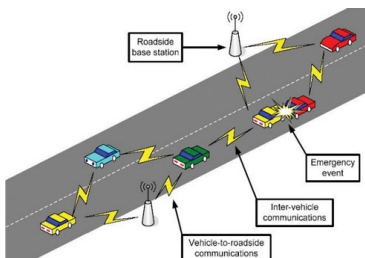
- hledání prázdných parkovacích míst ve městech (bez dotazů na centrální server), vyhýbání se dopravním zácpám, atd. (= VANETs)
- záchranné operace při přírodních katastrofách
- zasílání osobních zařízení (hodinky, brýle, PDA, medicínské přístroje, ...)
- vojenské operace: komunikace mezi tanky, vojáky,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

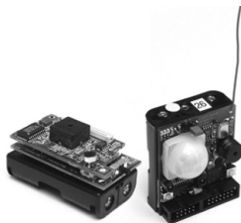
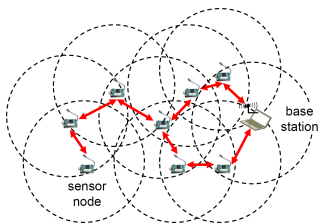
## Porovnání s infrastrukturními sítěmi

	<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

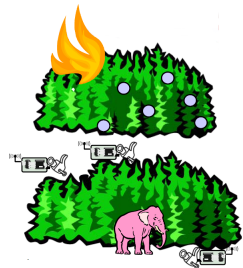
- např. senzorové uzly pro sledování přirozeného zvířecího prostředí
  - Great Duck Island, ZebraNet, atd.

### 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 funkcionality 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

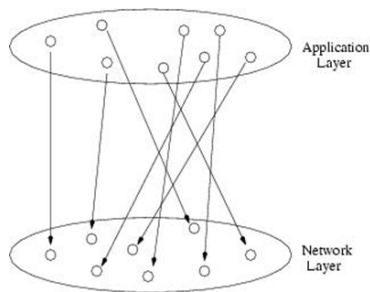
*Nicméně, mají i mnoho rozdílů →*

## 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
- Milojicic 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.