



CZECH
TECHNICAL
UNIVERSITY
IN PRAGUE

**FACULTY
OF ELECTRICAL ENGINEERING**

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING



Létající základnové stanice pro budoucí mobilní sítě

Zdeněk Bečvář

Katedra telekomunikační techniky
Fakulta elektrotechnické, ČVUT v Praze

5Gmobile
research lab
www.5Gmobile.eu

Osnova prezentace



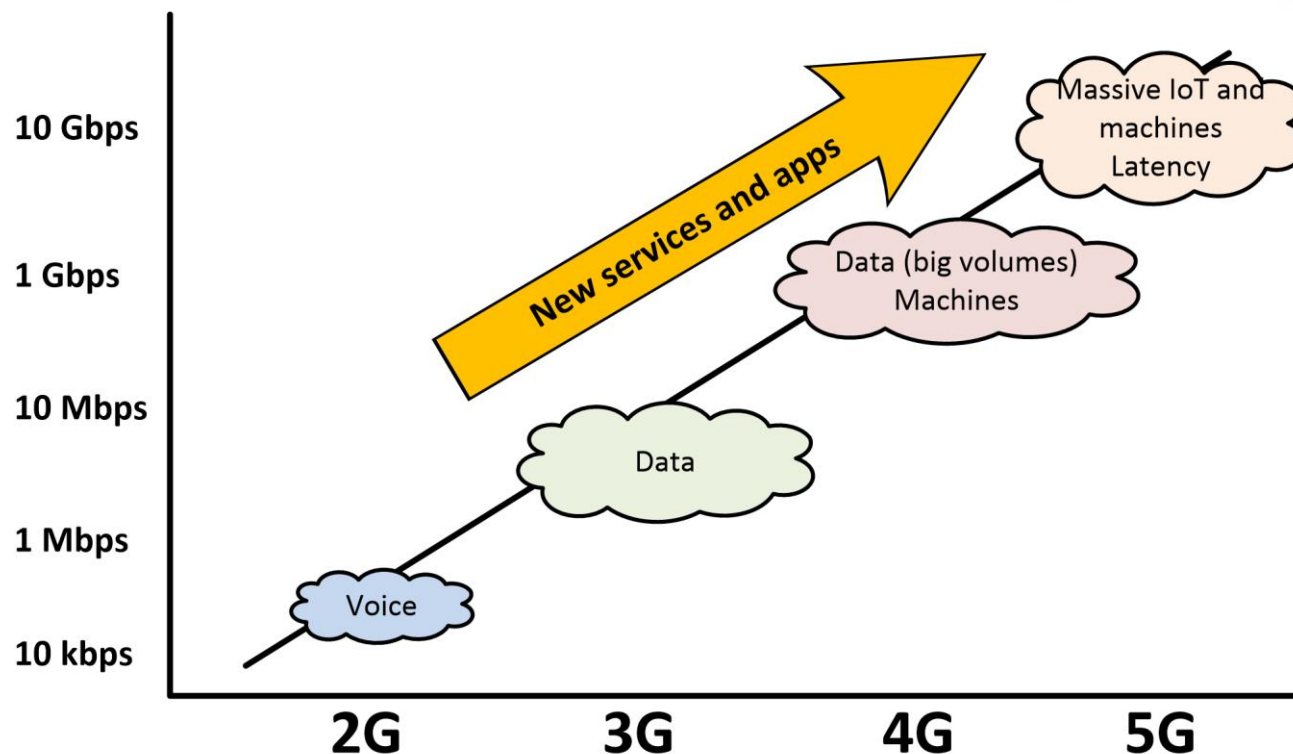
Vývoj mobilních sítí k 5G

Motivace pro vývoj za hranici 5G

Létající základnové stanice

- ▶ Scénáře
- ▶ Implementace
- ▶ Architektura sítě
- ▶ Využití a efektivita

Vývoj mobilních sítí



5G - První fáze (3GPP Release 15) zkompletována v září 2018

► Druhá fáze (Release 16) předpokládána v roce březnu 2020

Motivace pro rozvoj mobilních sítí za 5G

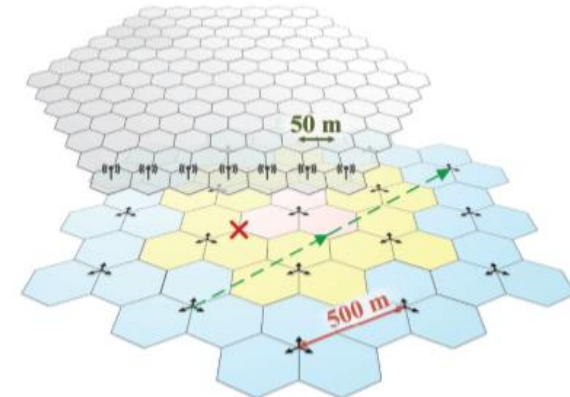


Požadavky na budoucí mobilní sítě (za hranici 5G - „Beyond 5G“)

- ▶ Rozmanitá zařízení (od senzoru po komplexní systém, např. automobil)
 - ▶ Mix komunikace lidí a strojů
 - Rozdílné požadavky z pohledu kvality (spolehlivost, přenosové rychlosti, zpoždění,...)
 - ▶ Proměnlivost komunikačních požadavků v čase a prostoru
- Vysoké požadavky na flexibilitu sítě a efektivitu využití rádiových prostředků
- Efektivní využívání spektra včetně vyšších kmitočtů a viditelného spektrum

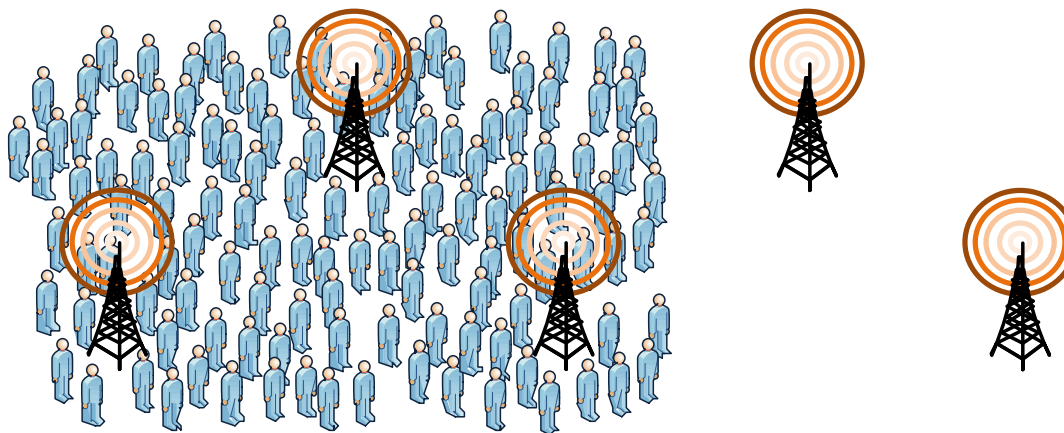
Řešení?

- ▶ Vysoká hustota malých buněk(Ultra-dense small cells)
 - Pokročilé anténní techniky (beamforming)
 - Řízení interference
 - Přidělování rádiových prostředků
 -



H. Klessing, et al, "From Immune Cells to Self-Organizing Ultra-Dense Small Cell Networks," IEEE JSAC 2016.

Scénáře pro budoucí mobilní sítě



Problém pohybujících se uživatelů

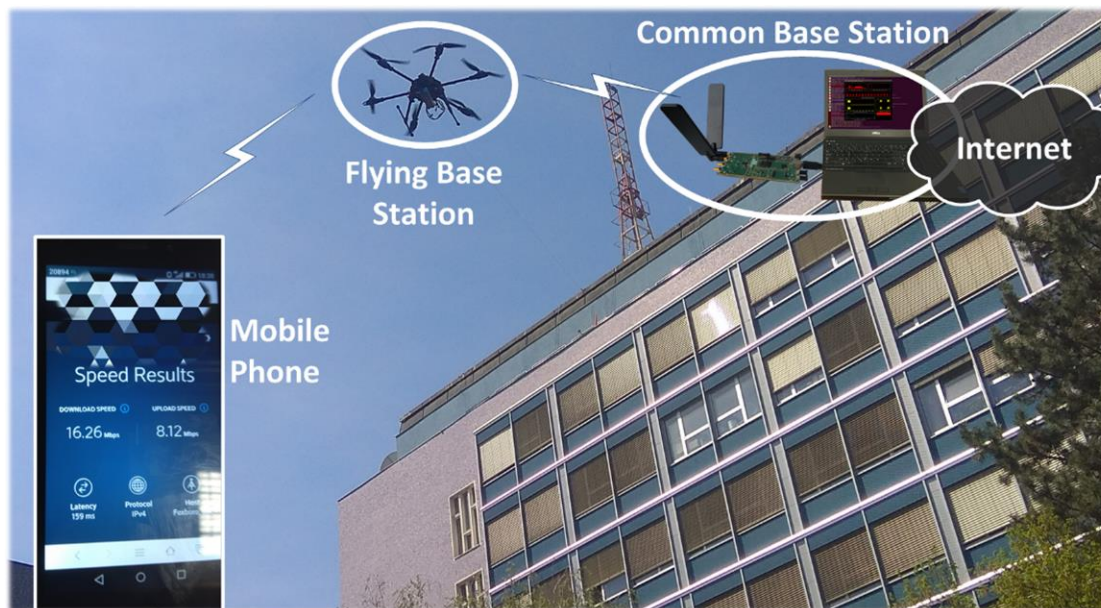
- ▶ Velké množství malých buněk nevyužito významnou část času
 - Náklady na vybudování a údržbu velkého množství malých buněk snadno přesáhnou jejich přidanou hodnotu

Létající základnové stanice



Potřeba řešení schopného reagovat v reálném čase na změny v síti

- ▶ Změna konceptu běžných základnových stanic
- ▶ Drony/bezpilotní letouny nesoucí základnové stanice
 - Létající základnové stanice - Flying base stations (FlyBS)

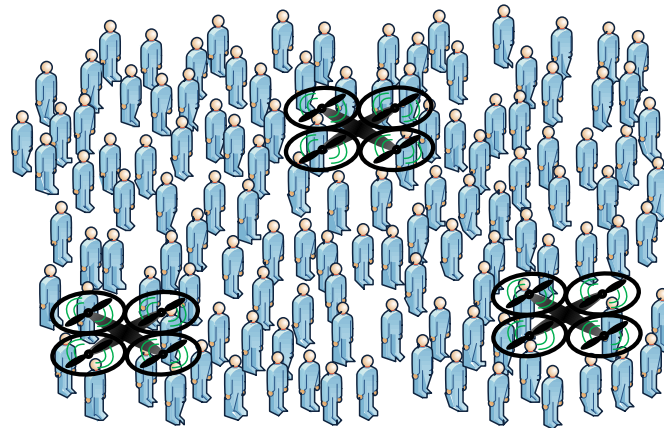


Scénáře vhodné pro létající základnové stanice



Požadavky na scénáře vhodné pro létající základnové stanice

- **Dynamičnost:** pohyb uživatelů a/nebo častá změna komunikačních požadavků v čase
 - Pohybující se uživatelé (ve skupinách)
 - Dočasné připojení



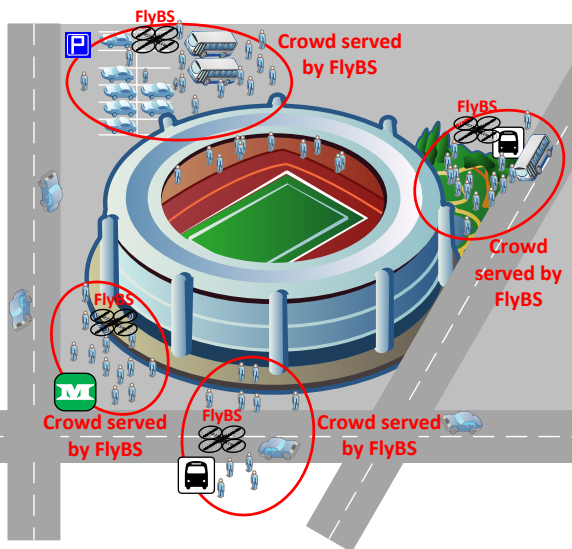
Příklady scénářů

- Komplikované dopravní situace (dopravní zácpy)
- Průmyslové oblasti nebo univerzitní kampusy
- Sportovní a společenské události (fotbal, hokej, koncerty,...)

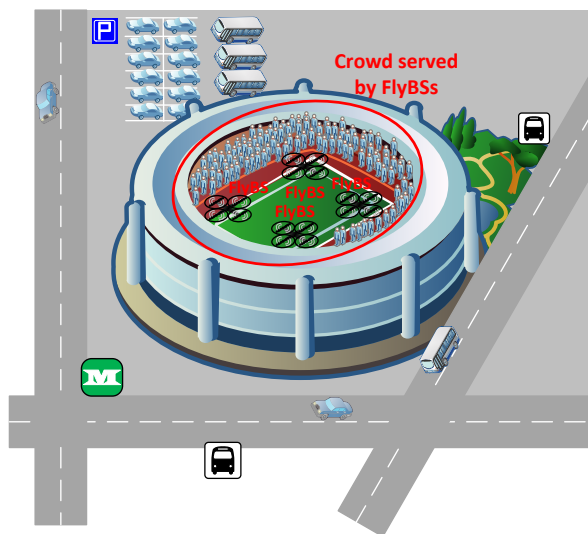
Ukázka typického scénáře



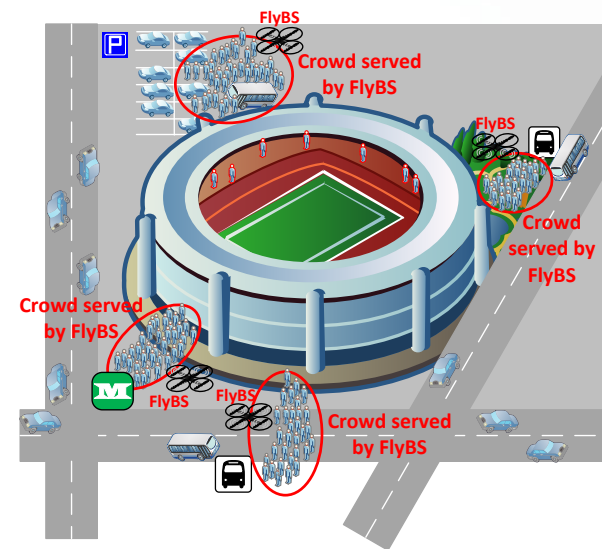
Before match



During match



After match



Praktické aspekty létajících základnových stanic



Části létající základnové stanice

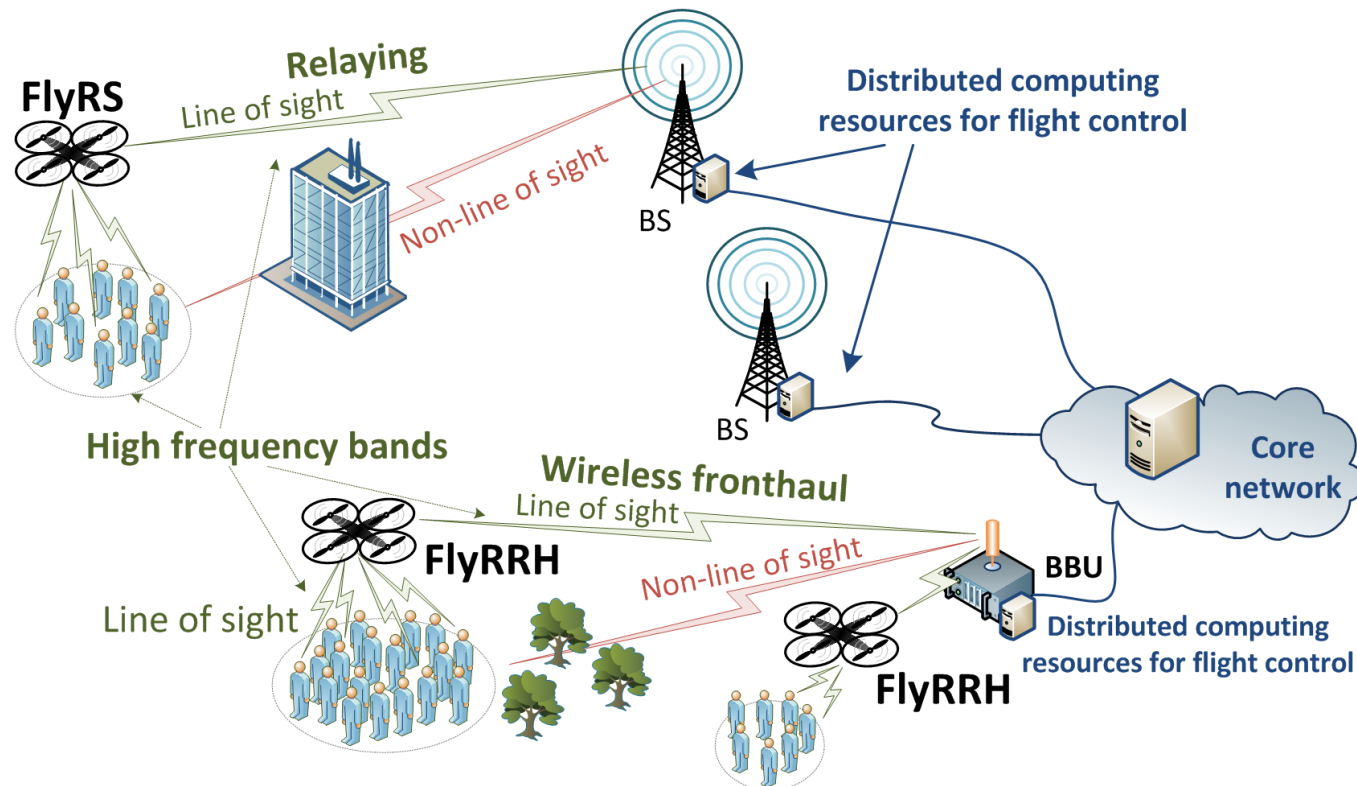
- ▶ **Malý/střední drone** (quad/hexa-copter)
 - Včetně řídicích prvků pro let
- ▶ **Komunikační hardware** umístěný na dronu
 - **Antény**
 - Hmotnost < 100g
 - **Komunikační rozhraní**
 - Softwarově definované rádio (20-50g)
 - **Procesor** a obvody pro řízení a zpracování komunikace
 - Embedded PC (300-400g)
 - Možno využít i pro řízení dronu (výběr polohy)
 - **Zdroj a napájení komunikační části**
 - Vysokokapacitní baterie (300-400g)
 - **Celková hmotnost < 1kg**



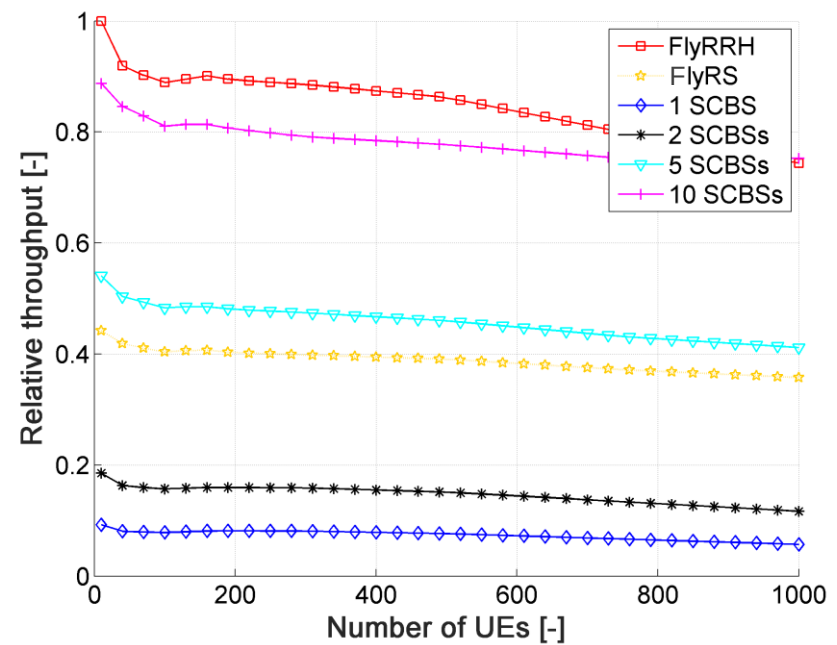
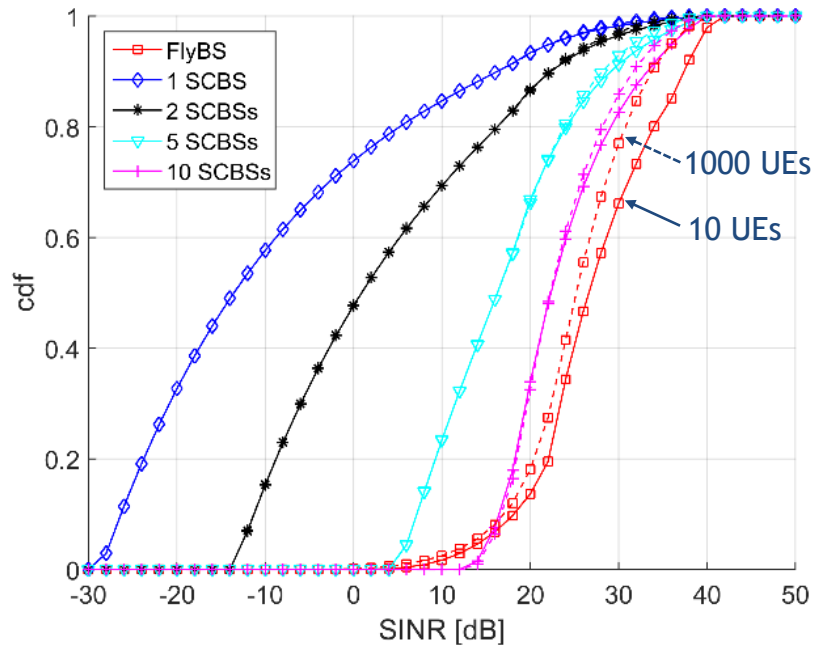
Provozní doba

- ▶ **Doba letu**
 - Běžné drony: **desítky minute**
 - **Drony napájené vodíkovými bateriemi: 2.5h letu s nákladem 1 kg**
 - Možno využít „energy harvesting“
 - Napájení létání i komunikace

Architektura řízení sítě



Vliv FlyBS na kvalitu komunikačního kanálu a prouštnost



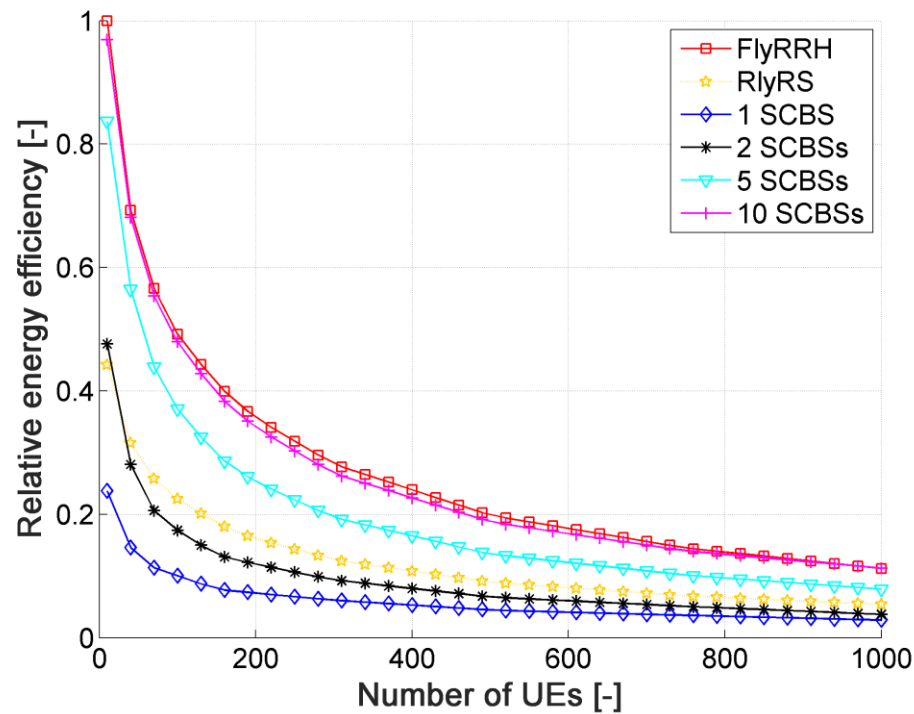
Výrazné zvýšení kvality komunikačního kanálu a propustnosti

- ▶ 1 FlyBS - výhodnější než 10 statických základnových stanic
 - 45 m rozestup klasických statických základnových stanic
- ▶ Vhodné pro využití vyšších kmitočtových pásem (desítky až stovky GHz, viditelné spektrum)

Energetická efektivita komunikace



Kolik bitů je možné přenést na joule z pohledu uživatelského zařízení?



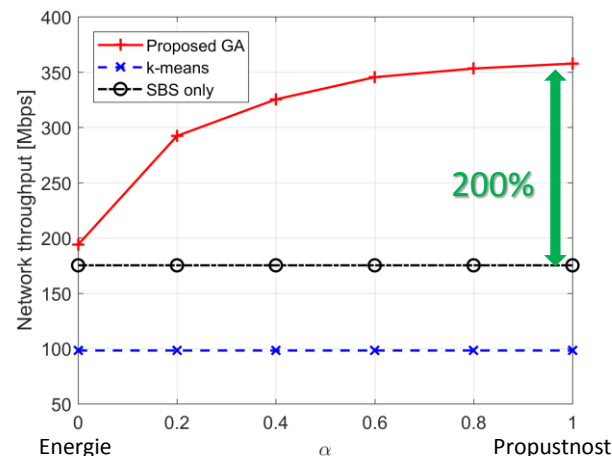
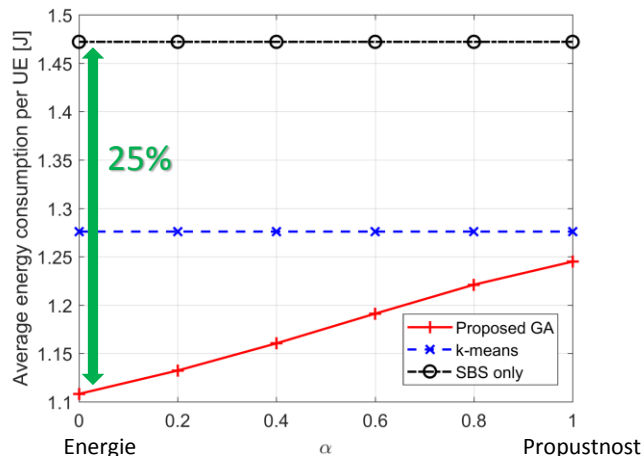
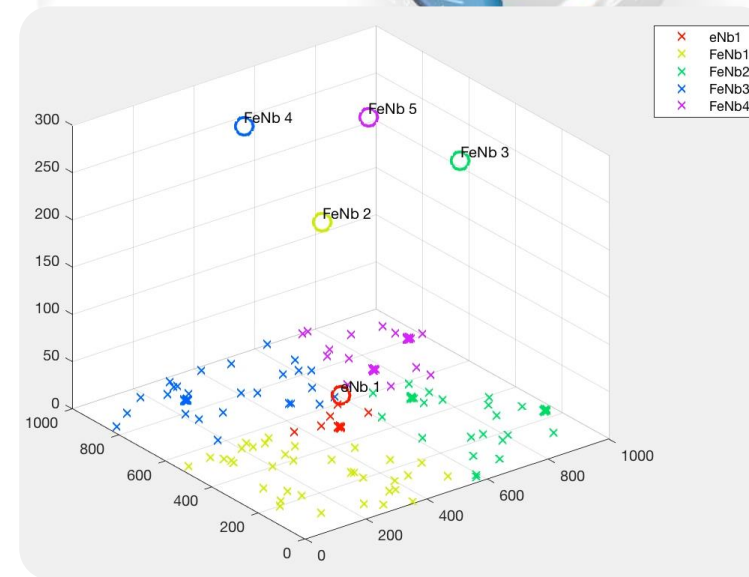
Energetická efektivita zvýšena cca 5x

Létající stanice samo-optimalizující polohu



Pozice FlyBS podle požadavků uživatelů

- Kombinované metriky
 - Komunikační propustnost
 - Energie spotřebované na komunikaci
- Genetické algoritmy
- Vyšší kvalita rádiového kanálu
 - Nízká vzdálenost a mezi uživatelem a FlyBS
 - Vyšší pravděpodobnost přímé viditelnosti
 - Možnost využití vyšších frekvenčních pásem





Létající základnové stanice jsou vhodným **doplňkem** pro budoucí mobilní sítě

- ▶ Výrazně **zvyšují efektivitu komunikace** (propustnost, energetickou efektivitu na straně uživatelů)
- ▶ Množství vhodných scénářů využití FlyBS

Létající základnové stanice umožňují **masivní a efektivní využití vyšších frekvenčních pásem** pro budoucí mobilní sítě



CZECH
TECHNICAL
UNIVERSITY
IN PRAGUE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING



Děkuji za pozornost!

zdenek.becvar@fel.cvut.cz



Regulations



Safety regulations

- ▶ Operation of drones in **commercial scenarios**
- ▶ Drones (FlyBSs) should **not endanger people!**
- ▶ Current **regulations vary among countries**
 - Minimum distance of **drones from people** is typically in **dozens of meters**

Recent discussions about **changes in regulations**

- ▶ **Pushed by market** in other domains of application of drones
- ▶ **Relaxation of limits**
 - Strongly supported by many industries including cellular network operators
 - US
 - Small drones allowed to fly above people
 - Larger drones shall be limited to 3m vertically and 6m horizontally from people
 - Europe
 - Discussions on a general framework for regulation of the commercial UAVs

→ ideal time to start research now 😊

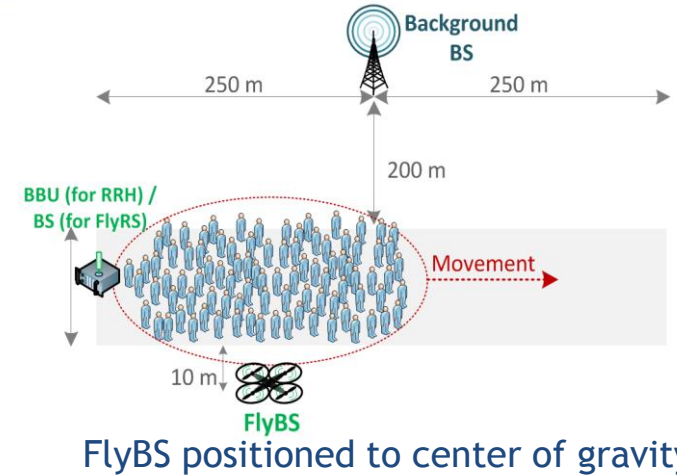
Small cells vs. FlyBS



Positioning of FlyBS - center of gravity

$$x_d = \frac{1}{n_u} \sum_i \alpha_i x_i;$$

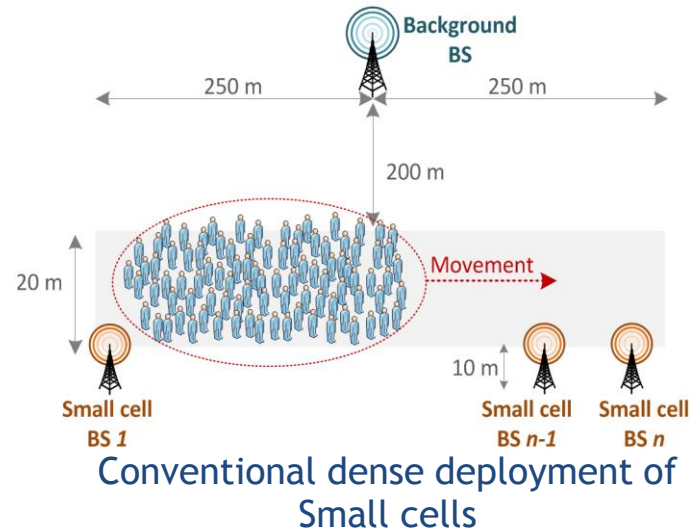
Total number of UEs n_u
 Coordinates of i -th UE x_i
 Relative throughput requested by i -th UE α_i
 $\alpha_i \in (0,1); \sum \alpha_i = 1$



Parameters

Value

Carrier frequency	38 GHz
Bandwidth	500 MHz
Transmitting power of BSs	32 dBm
Path loss models Fly/BSs – UE	Partially obstructed; PL exp. 2.21
Path loss models Fly/BSs – BS/BBU	LOS; PL exp. 1.92, 20 dBi ant. gain
Modulation and coding	QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM
Code rate	78/1024 to 948/1024
Average speed of UEs	1.4 m/s
Mobility model	linear crowd – bottleneck [1]
Static BSs	CoMP-DPS and int. mitigation [2]
Number of simulations drops	50



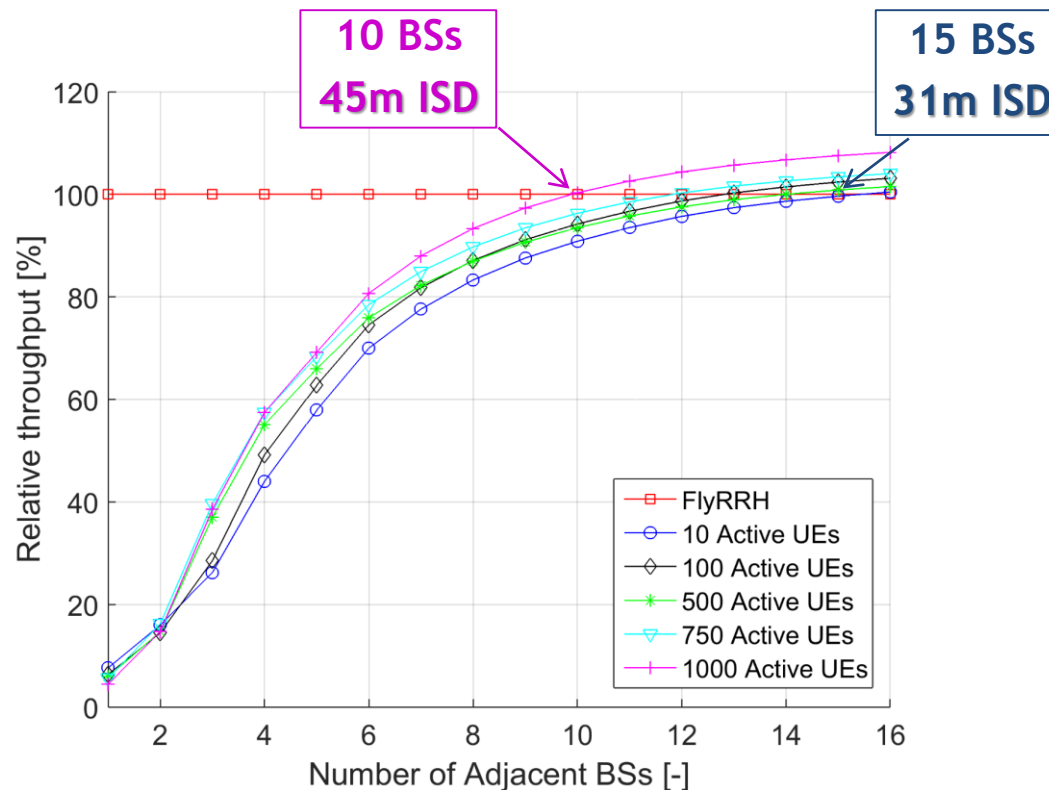
[1] I. Karamouzas, B. Skinner, S.J. Guy, "Universal power law governing pedestrian interactions," Physical review letters, Vol. 113, No. 23, December 2014.

[2] Y. Gao, L. Cheng, Y. Li, X. Zhang, D. Yang, "Performance Evaluation on Cell Clustering Interference Mitigation and CoMP in Multi-Pico Network with Dynamic TDD," IEEE VTC Spring, 2015.

How many static BSs can be replaced by FlyBS?



How many static BSs is needed to provide same throughput as single FlyBS for moving users?



Positioning of multiple FlyBSs



How to determine positions of multiple FlyBSs?

- ▶ (Almost) **Static UEs**
 - Analogy to common network planning (static BSs)
 - Propagation and coverage maps

- ▶ **Moving UEs**
 - Bio-inspired optimization algorithms
 - Evolutionary algorithms
 - Swarm inspired algorithms
 - etc.

Genetic Algorithms



Initial population

- ▶ Set of solutions

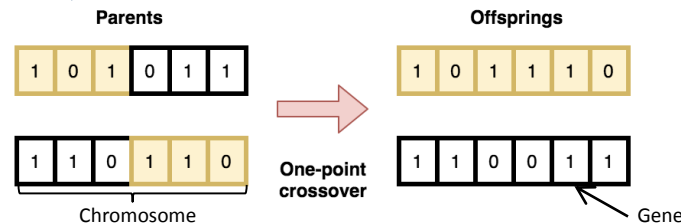
Selection of Parents

- ▶ Solutions with higher quality survive more likely
 - Selection pressure (higher → better solutions are preferred)

Offsprings (new solutions) generated from population

▶ Cross-overs

- One point
- Multiple points

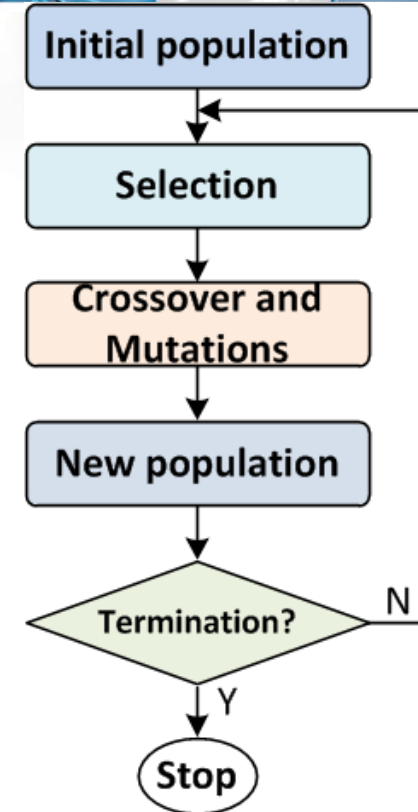


▶ Mutations



New population

- ▶ Best of initial population and offsprings
 - Cost function



Genetic Algorithms for positioning

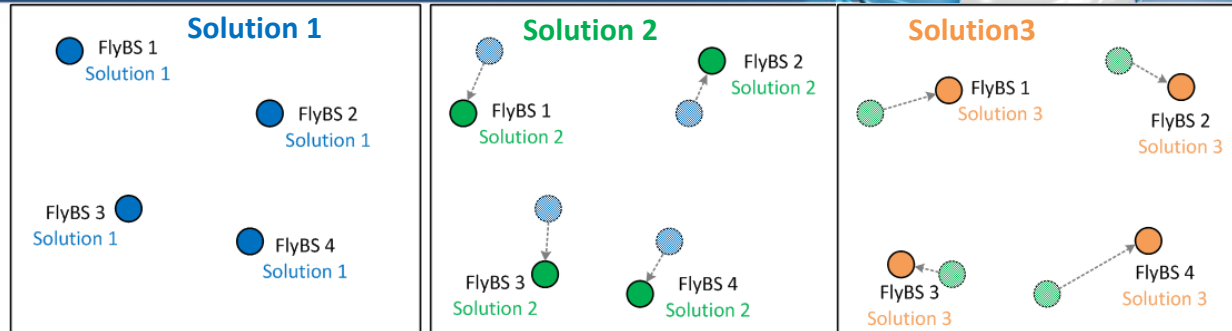


Initial population

- Set of solutions
 - Positions of FlyBSs

Selection of Parents

- Solutions with higher quality survive more likely
 - Positions giving highest cost function (e.g. throughput) are more likely to be selected

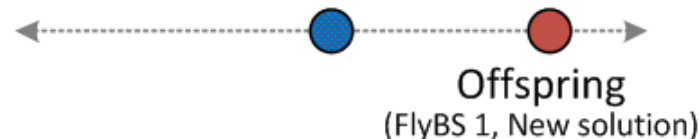


Offsprings generated from population

- Cross-overs



- Mutations



New population

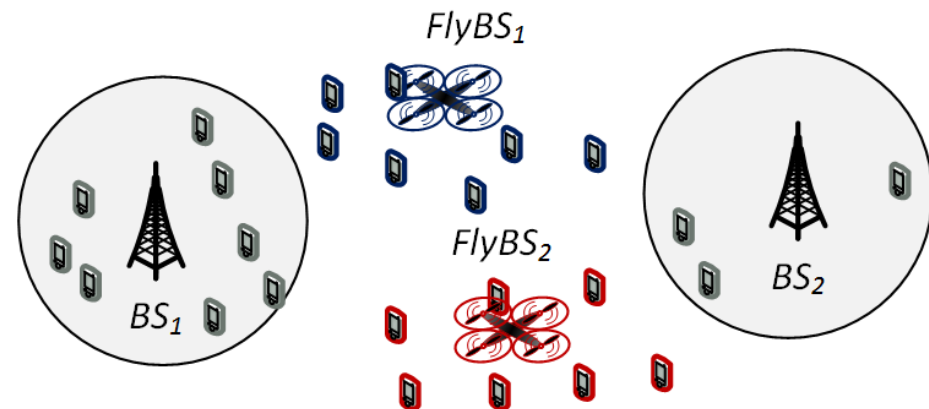
- Initial population + offsprings
 - Same population size kept - only best (maximizing targeted metric/cost function) remains
 - Keep only solutions with, e.g., high throughput

Example of GA application



Maximize number of **UEs satisfied with experienced data rate**

- ▶ Find positions of FlyBSs
- ▶ Associate UEs to either BS or FlyBS and Allocated resources to UEs
 - Remove FlyBS if not needed



$$\begin{aligned}
 \mathbf{B}, \mathbf{V} = & \operatorname{argmax}_{\beta_{i,k} \in \mathbf{B}, \mathbf{v}_k \in \mathbf{V}} \sum_{i \in \mathbf{N}} \mathbf{1}(c_i^{\min} \leq c_{i,k}) \\
 \text{s.t.: } & 0 \leq \beta_{i,k} \leq 1 \\
 & \sum_{i \in \mathbf{N}} \beta_{i,k} = 1
 \end{aligned}$$

$\mathbf{1}$ = 1 if condition fulfilled
 $\mathbf{1}$ = 0 otherwise

$c_i^{\min}$: Throughput required by i -th UE
 $c_{i,k}$: Throughput experienced by i -th UE from k -th (Fly)BS
 $\beta_{i,k}$: Bandwidth allocated to i -th UE at k -th (Fly)BS

Algorithm

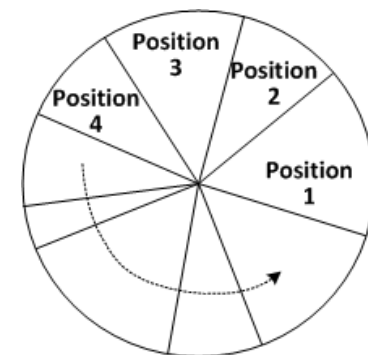


Generate Initial population

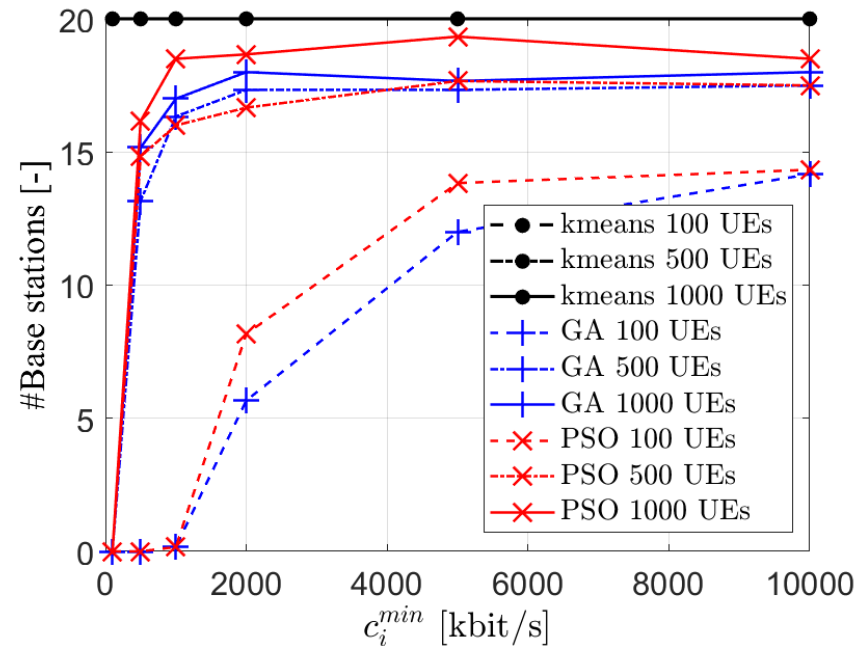
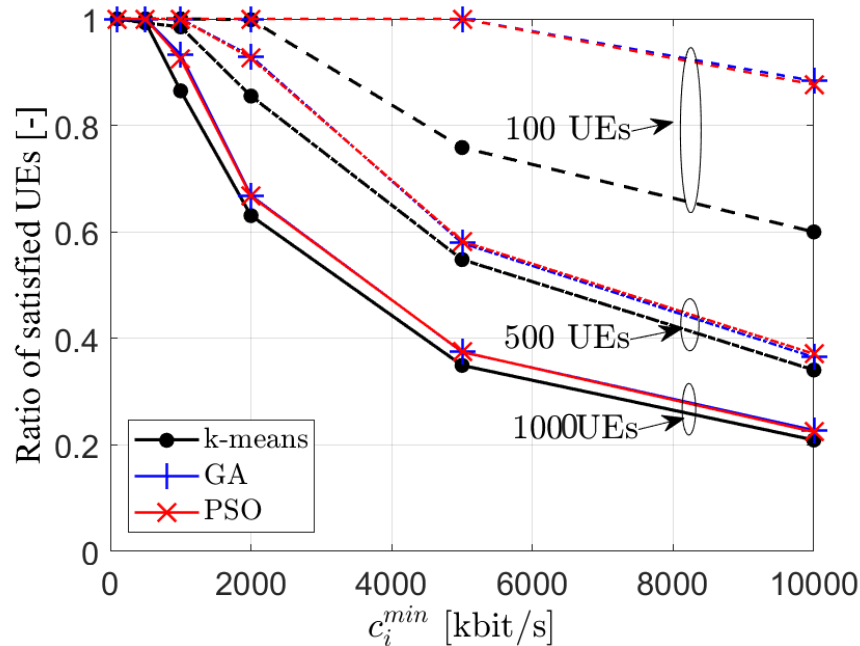
- ▶ Random set of positions of FlyBSs
- ▶ Associate UEs to (Fly)BSs according to SINR
 - Allocate resources $\beta_{i,k} = \frac{c_i^{min}}{\log_2(1+\gamma_{i,k})}$ to each UE at (Fly)BS providing highest SINR
 - Until all bandwidth allocated to UEs
 - If any FlyBS serves no UE → turn it off
- ▶ Calculate Cost function for each set of FlyBSs' positions: $\sum_{i \in N} \mathbf{1}(c_i^{min} \leq c_{i,k})$

Update of position and association

- ▶ For each FlyBS
 - Selects candidates for cross-overs and mutations
 - Previous positions leading to a “good” result (cost function)
 - Roulette wheel: better position has higher probability to be selected
 - Generate offsprings (new positions)
 - Cross-overs and mutations
 - Associate UEs
 - Calculate Cost function in new offspring
- ▶ New position of FlyBS
 - Best of: Original population + Offsprings



Satisfaction and number of required FlyBSs



UEs' satisfaction improved by GA and PSO (Particle Swarm Optimization)

- ▶ GA and PSO almost the same performance
- ▶ Gain wrt k-means increases with lower number of UEs

Number of active FlyBSs lowered by GA

- ▶ At least 1 and 3 less FlyBSs required wrt PSO and k-means, respectively