



FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ČVUT V PRAZE

1b. SENZOROVÉ SÍTĚ

Přednášející:

prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.

husak@fel.cvut.cz

tel.: 2 2435 2267

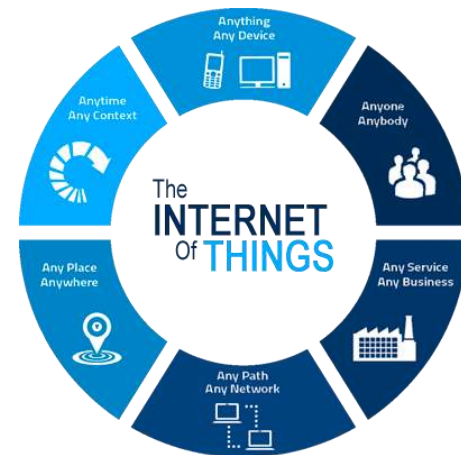
<http://micro.fel.cvut.cz>

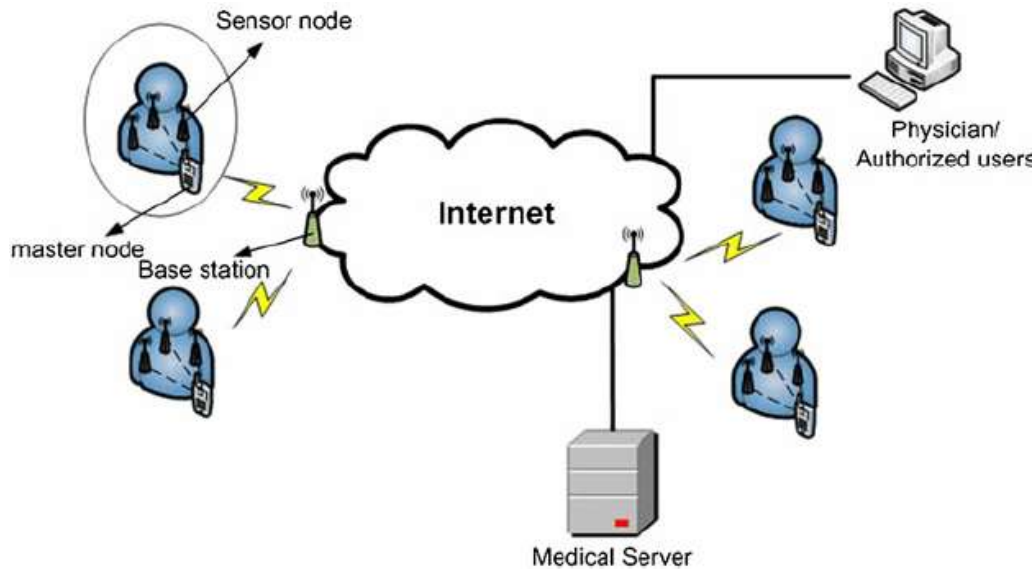
Cvičení:

Ing. Adam Bouřa, Ph.D.

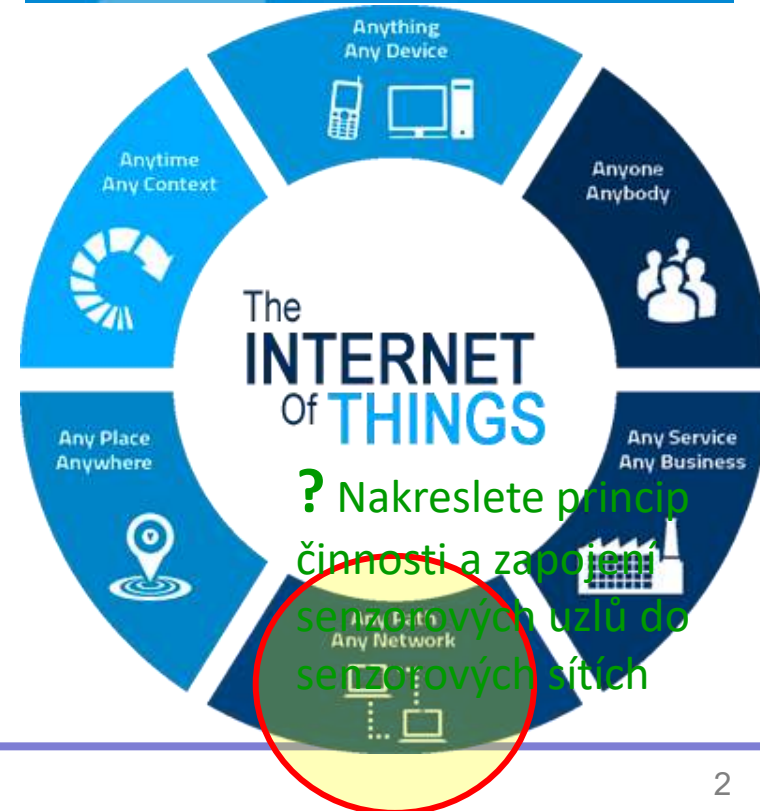
Ing. Tomáš Teplý

Ing. Alexandr Laposa





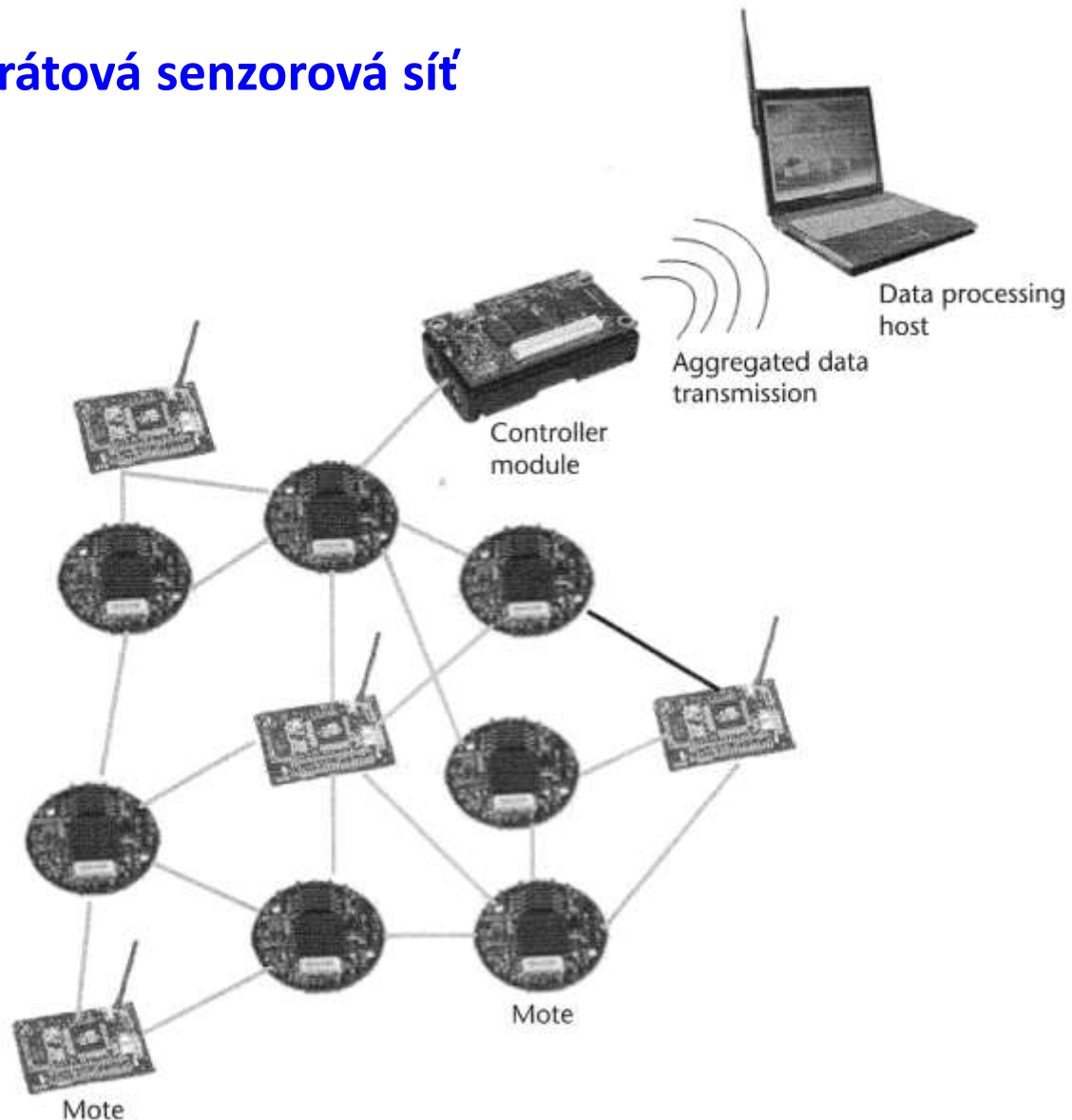
? Nakreslete princip vytváření senzorových sítí pro IoT



? Nakreslete princip činnosti a zapojení senzorových uzlů do senzorových sítí

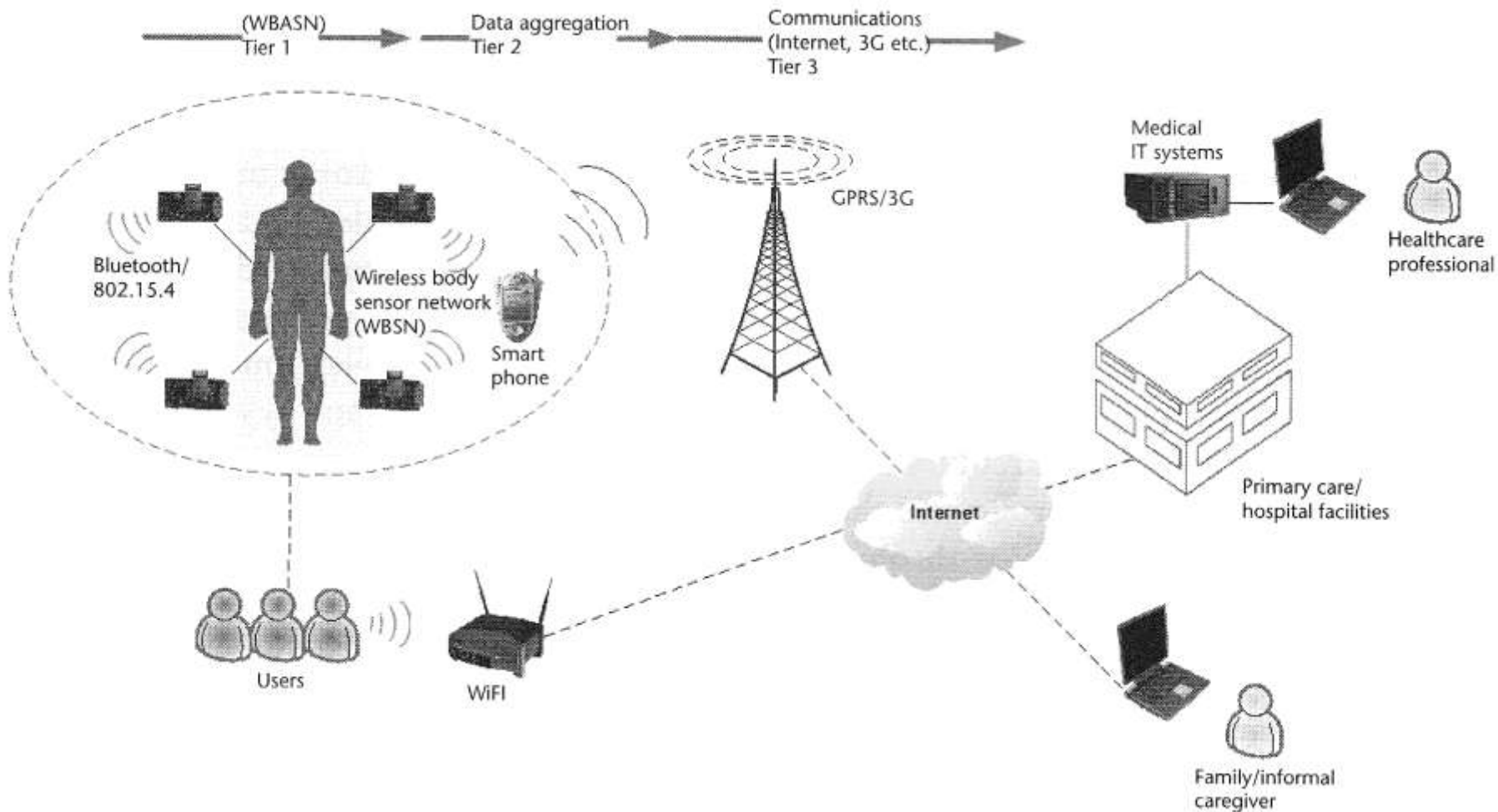
Senzorové sítě

Jednoduchá bezdrátová senzorová síť



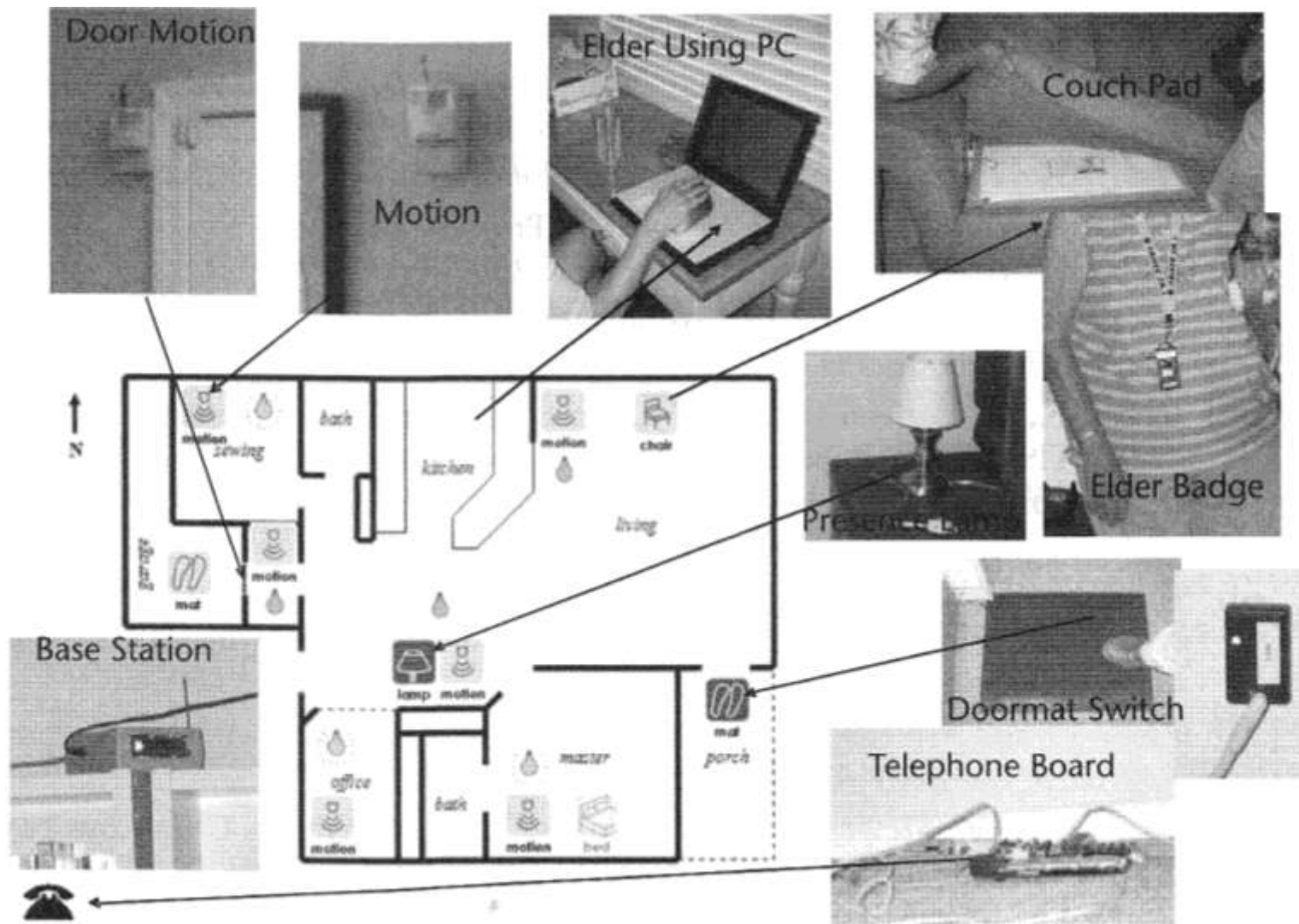
Senzorové sítě

Rozsáhlá bezdrátová senzorová síť s různými komunikačními standardy

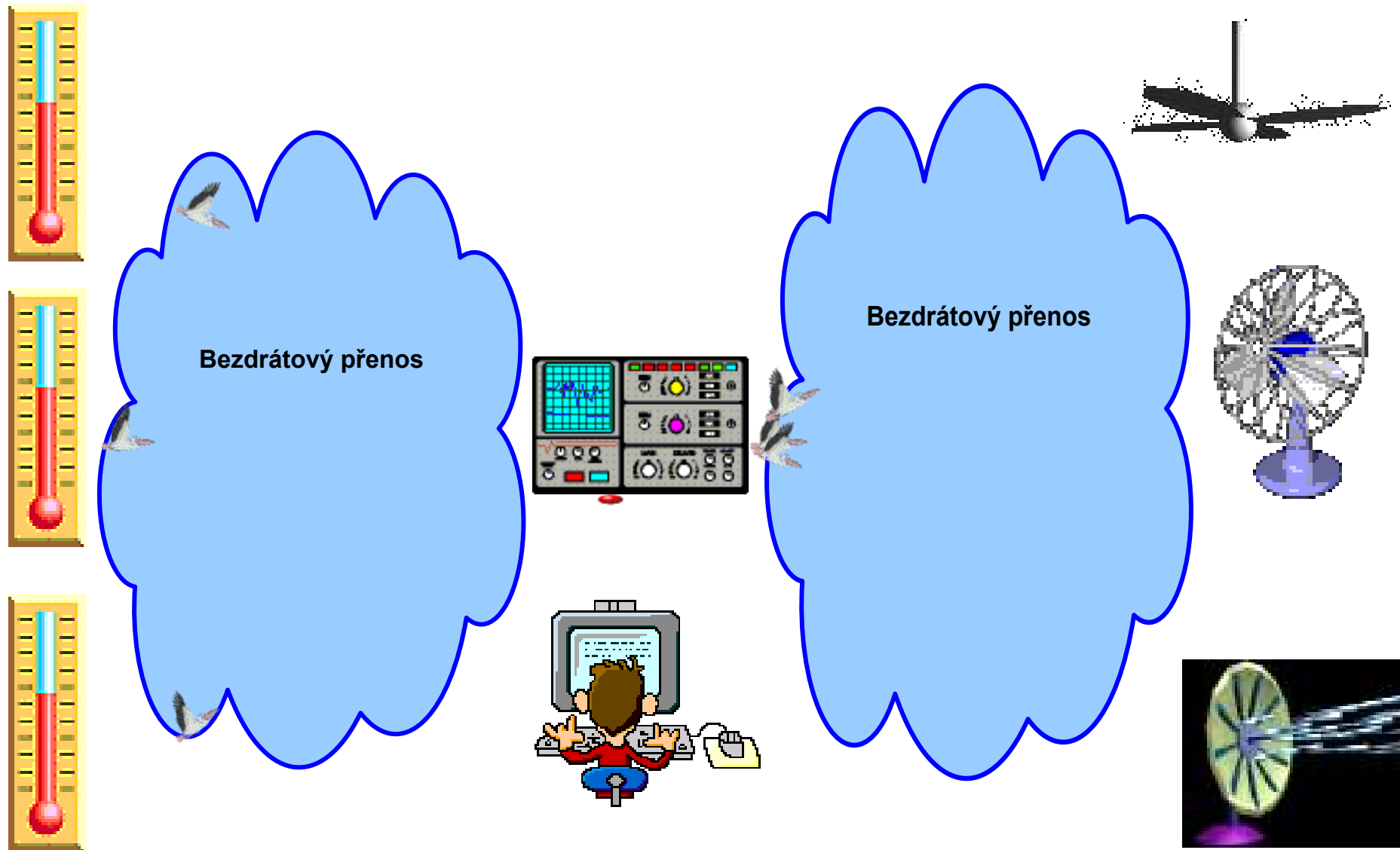


Senzorové sítě

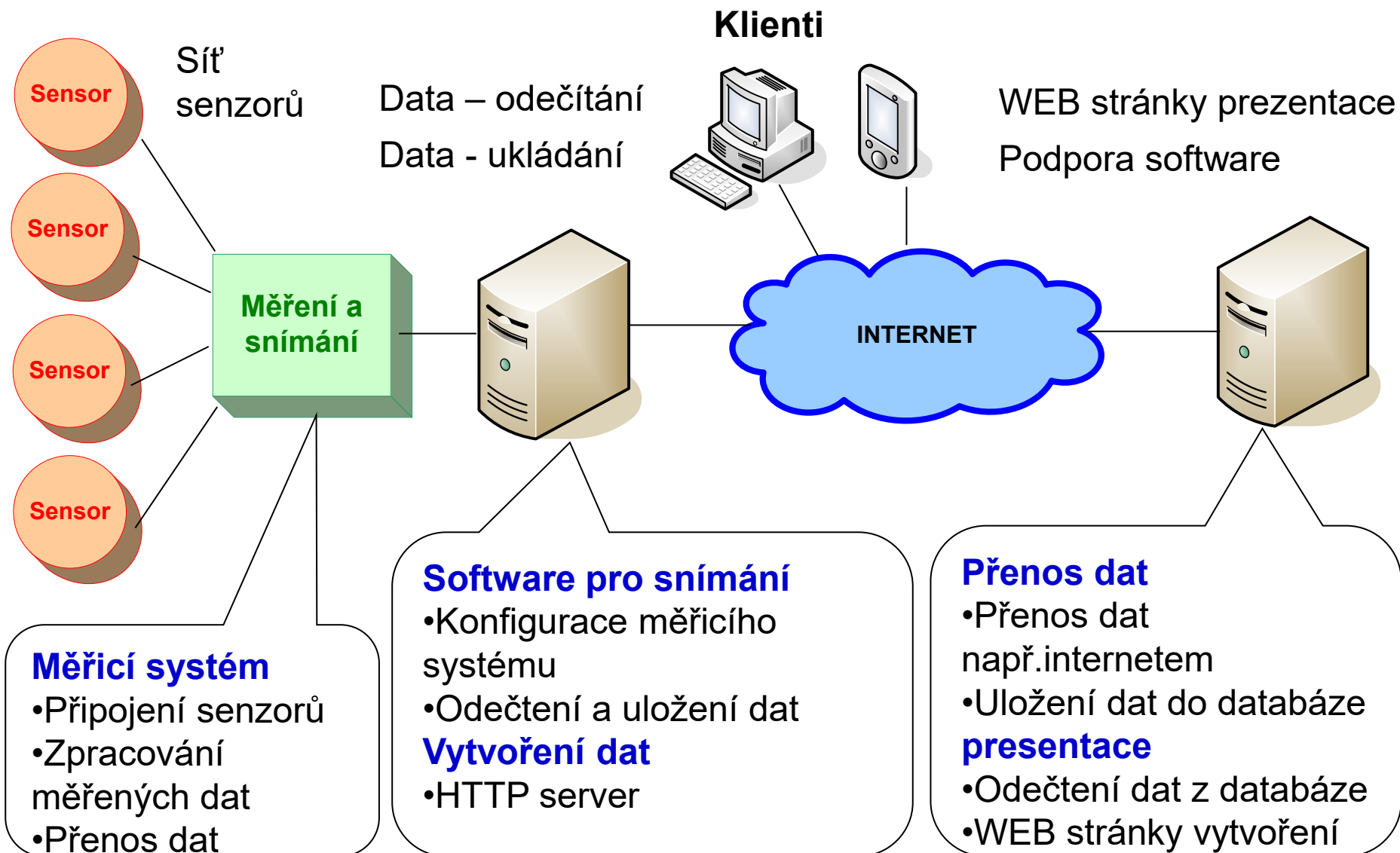
Příklad senzorové sítě pro domácnost



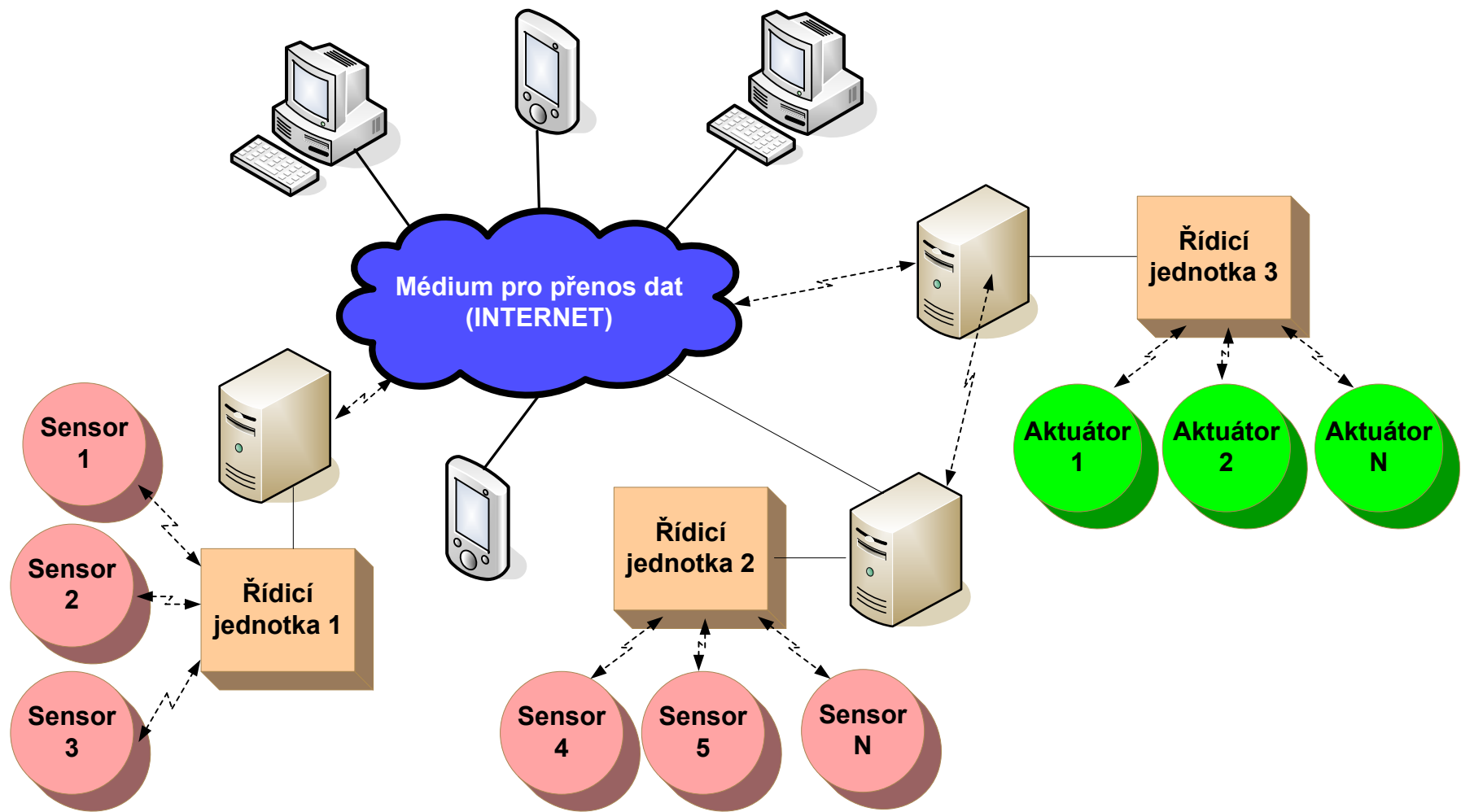
Senzorové sítě - komunikace + automatizace + řízení



Senzorové sítě - komunikace + automatizace + řízení

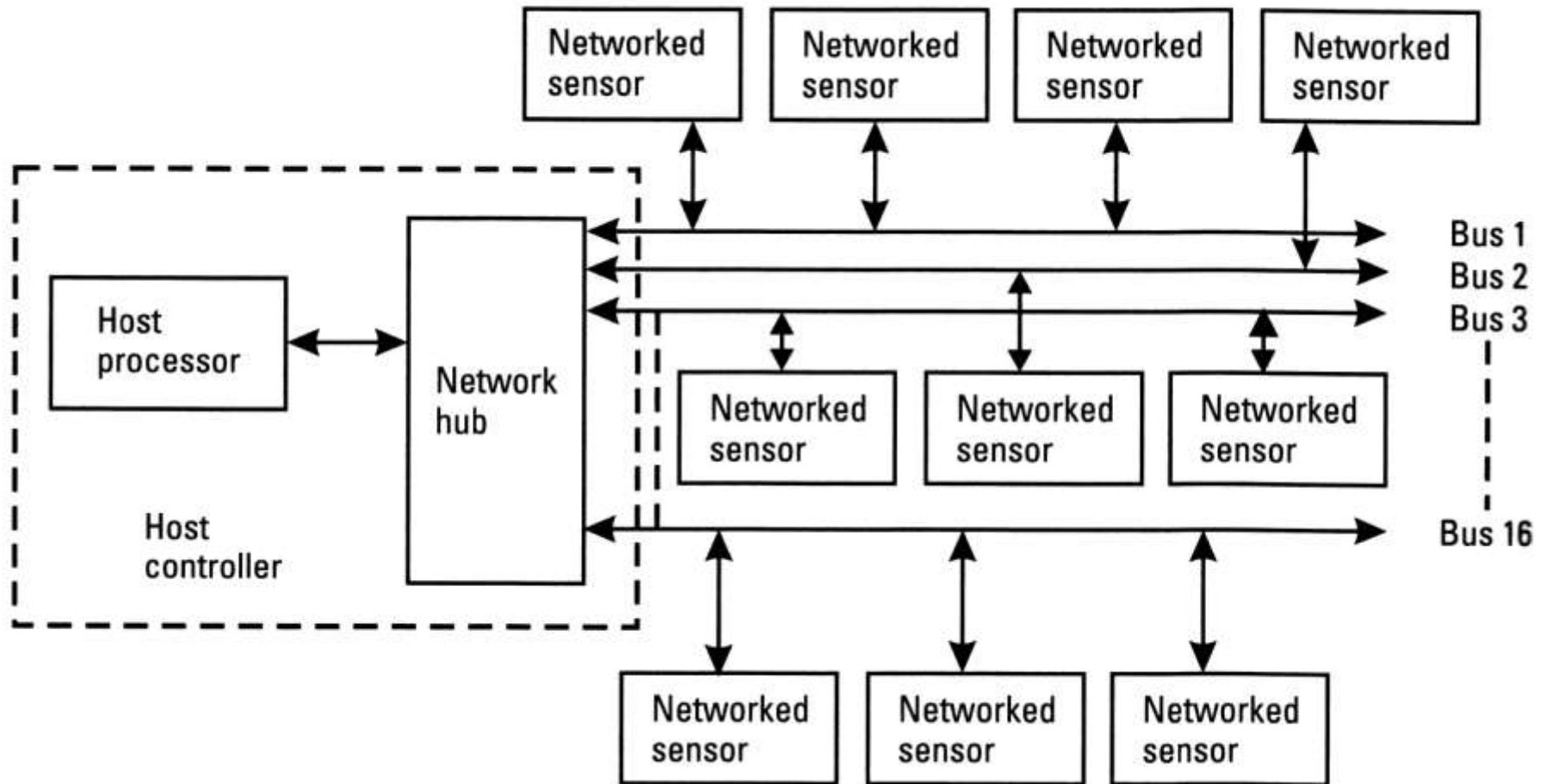


Senzorové sítě - komunikace + automatizace + řízení



Senzorové sítě

Příklad hardware bezdrátové senzorové sítě (WSN)



Bezdrátové senzorové sítě

Bezdrátové senzorové sítě - Wireless Sensor Networks (WSN)

- Senzorové sítě **spojené s bezdrátovou** komunikací.
- **Velké množství uzlů** vybavené různými typy senzorů.
- Senzorové sítě jsou založené na **principech počítačových sítí** se síťovou strukturou umožňující nové aplikace (životní prostředí, průmysl, automatizace, zdravotnictví nebo v letectví a kosmonautice nebo v armádě).
- WSN jsou **omezeny výkonovými zdroji** a výpočetní kapacitou.
- WSN mohou být navrhovány **pro různé účely**, např. ke shromažďování a zpracování dat pro lepší porozumění chování sledované entity, pro monitorování výskytu možných událostí v prostředí a tím i vytvoření možného zpětného akčního působení.



MEMS mikrosenzory v senzorových sítích senzorů

- MEMS senzorové uzle jsou často označovány jako *Smart dust* (Chytrý nebo Inteligentní prach), snímání fyzikálních i biochemických veličin (např. glukóza).
- Spotřeba elektrické energie
- Vývoj autonomních napájecích systémů (piezoelektrické, elektrostatické nebo solární, ale i mikoreaktory apod.), které by umožnily energetickou nezávislost systémů a tím i jejich dlouhý nezávislý provoz.
- Energeticky úsporné algoritmy umožňující senzorům autonomní činnost, tj. sběr a přenos informací podle stupně významu.
- Do senzorových sítí se implementují distribuované systémy řídící jejich činnost.



MEMS mikrosenzory se v sítích senzorů

- **Intel** vytvořil *Open source* operační systém s označením *TinyOS* (Systém umožňuje senzorům a senzorovým sítím získávat shrnující informace nebo jejich různé třídění ze získaných dat, pracuje s programovatelnými routery, které umožňují určení činnosti v okolí senzoru nebo senzorové sítě).
- Senzorové sítě musí být schopné sdílet informace, být dotazovány a programovány *prostřednictvím internetu*.
- K tomu mají být využívány nastupující standardy vyvinuté organizací *Open GIS Consortium*, které mají vytvořit prostředí, kde všechny senzory a senzorové systémy včetně jejich datového vybavení byly *přístupné a ovladatelné přes webovské rozhraní*



Standardizace SML rozhraní (Sensor Model Language)

- V současnosti **různé senzorové sítě** komunikují **různým vlastním jazykem**. Tyto sítě jsou sice nezávislé, ale dokáže s nimi pracovat a využívat jejich vlastností jen omezená skupina.
- *Standardizace SML rozhraní (Sensor Model Language)* podporující současný hardware a software. Představy do budoucnosti jsou ve více autonomních senzorových sítích, které budou samy schopny činnosti a komunikace se senzory .
- **Standardizace** přinese zaručenou spolupráci senzorových systémů, počítačových systémů, sítí i softwaru, která dnes je ještě značně nedokonalá.

Senzorové sítě

Central Nervous System for the Earth CeNSE (Ústřední nervový systém Země).

- **Hewlett-Packard** - grandiózní projekt globální senzorové sítě.
- Síť senzorů (od milionů až po stovky milionů po celé Zemi).
- Předpokládá se možnost instalace do většiny mobilů (miliardy).
- Využití MEMS senzorů pro monitorování **pohybu, zrychlení, vibrací, teploty, srdečního tepu** apod.
- Nové komunikační spoje s **optickými kabely a sítě mobilních operátorů**, třídění a vyhodnocení dat v počítačových centrech.
- **Velké množství dat** zvýšené požadavky na rychlost komunikace.
- **Metody zpracování velkého množství dat** (senzorové fúze, agregace dat atd.)
- Klíčovými problémy jsou **topologie, rekonfigurování, routing** (směrování dat) a **protokoly** sítě.



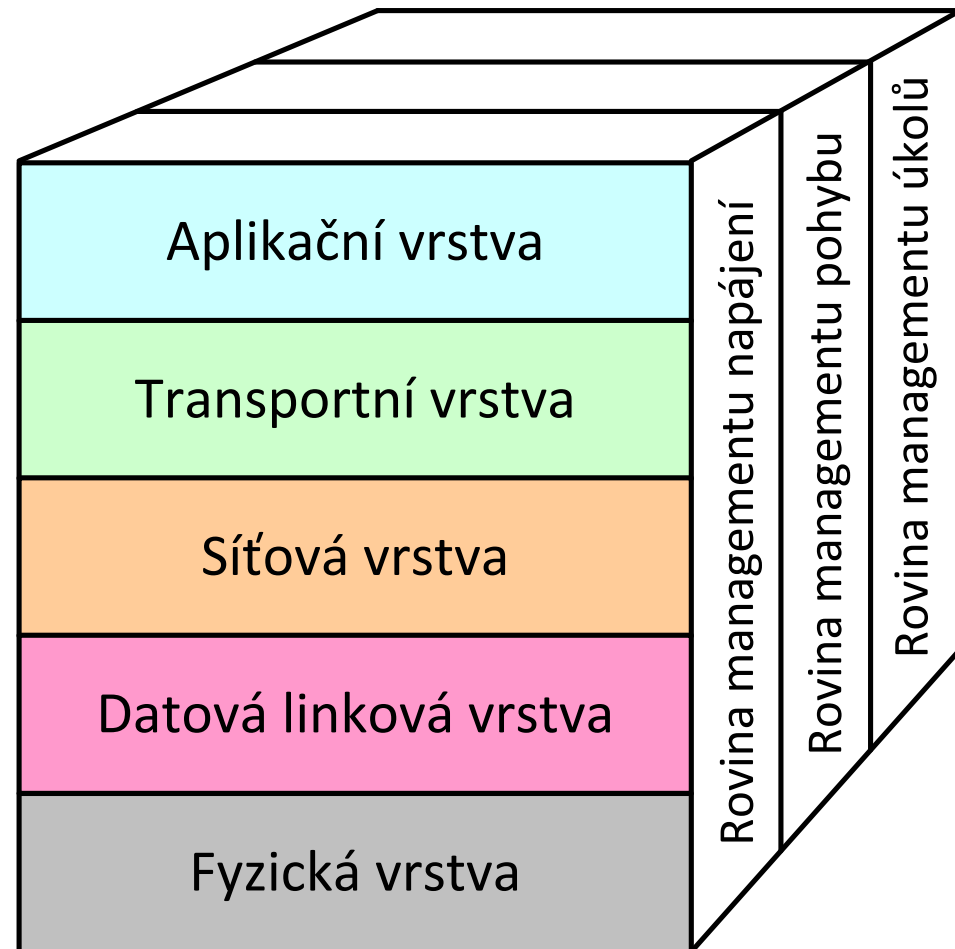
Komunikační architektura senzorových sítí

Jednotlivé vrstvy

- zajišťují činnost sítě
- jsou podporované protokoly

Protokoly

- zajišťují správnou činnost a směrování dat
- integrují data
- komunikují efektivně prostřednictvím bezdrátového média
- podporují spolupráci senzorových uzlů



Komunikační architektura senzorových sítí

Dílčí části sítě

Transportní vrstva - udržuje tok dat.

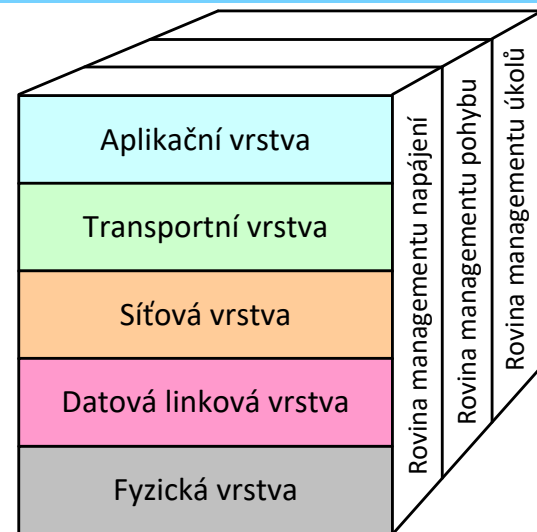
Síťová vrstva - směrování dat poskytnutých transportní vrstvou.

Fyzická vrstva – zajišťuje jednoduchou, ale robustní modulaci, přenosové a přijímací techniky.

Řízení spotřeby - napájení a řízení spotřeby senzorových uzlů.

Mobilita managementu - detekuje a zaznamenává pohyb senzorových uzlů pro nastavení cesty k uživateli a zachování informace o stopě uzlu ve vztahu k sousedním uzlům. Ze znalostí sousedních uzlů může daný uzel vyvážit výkon a zajišťované úkoly.

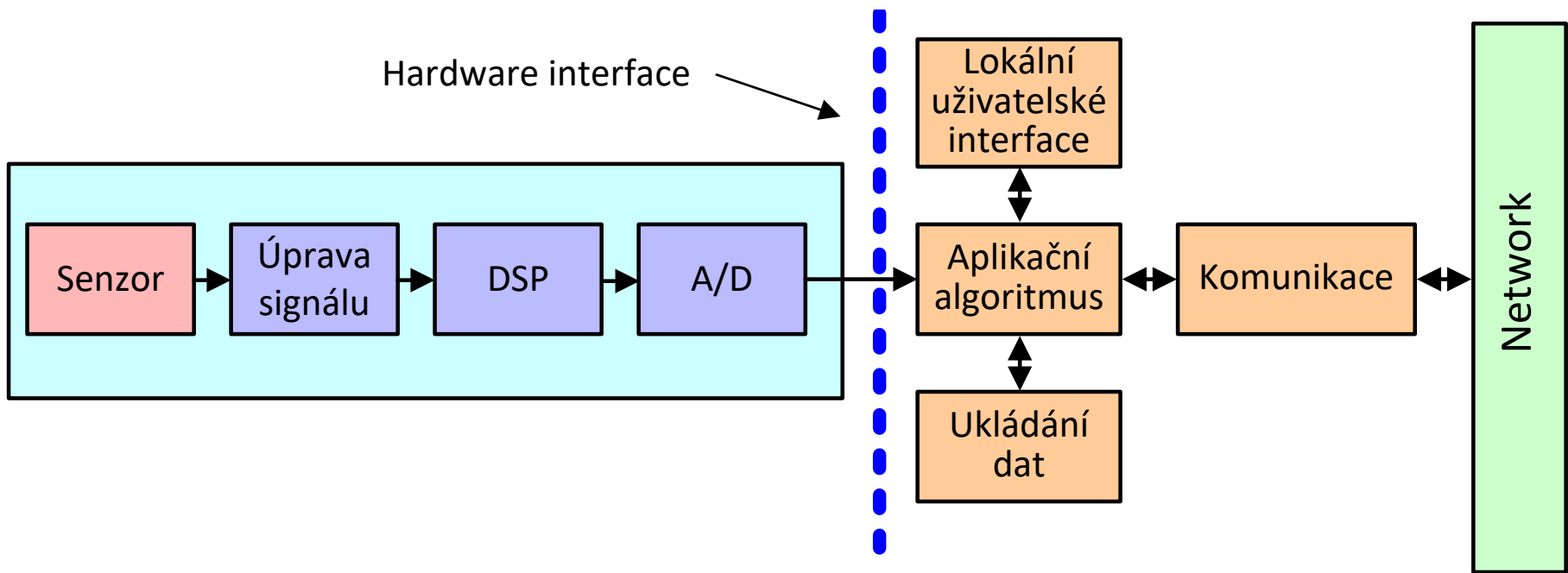
Management úkolů - vyvažuje a časuje snímací úkoly ve specifické oblasti (zajišťuje, aby senzorové uzly pracovaly společně výkonově účinným způsobem, směrování dat v mobilní senzorové síti a sdílení zdroje dat mezi jednotlivými uzly).



Uzly senzorových sítí

Standard IEEE 1451 a inteligentní senzor

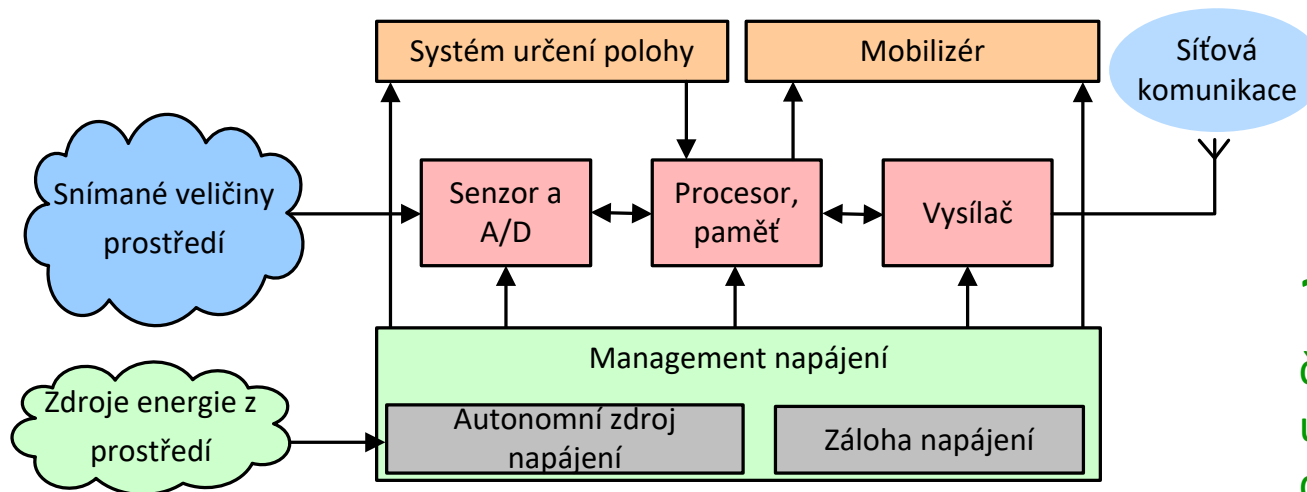
Koncept inteligentního senzoru – definován na základě standardu IEEE 1451



Senzorový uzel (typicky nazývané *mote*, *node*)

Hlavní součásti:

- Senzorová část
- Zpracování signálu
- Vysílač - pasivní nebo aktivní (optický systém nebo RF systém).
- Napájení
- Popř. *další komponenty* (určení polohy, autonomní napájení, pohyb senzorového uzlu – *mobilizer*).



? Nakreslete princip činnosti senzorového uzlu a jeho a zapojení do senzorové sítě

Uzly senzorových sítí

- Komerční výroba řadou malých a středních podniků
- Aktuálně více než 127 milionů motes po celém světě.
- Výzkum hardwarových konfigurací a 3D pouzdření např. v:
- Výrobní podniky (typické):
Tyndall National Institute, Fraunhofer-IZM, IMEC, Harvard, Imperial College London, UC Berkeley, ETH Zürich, MIT, Sandia National Laboratories, Yale, Intel, apod.

Určení:

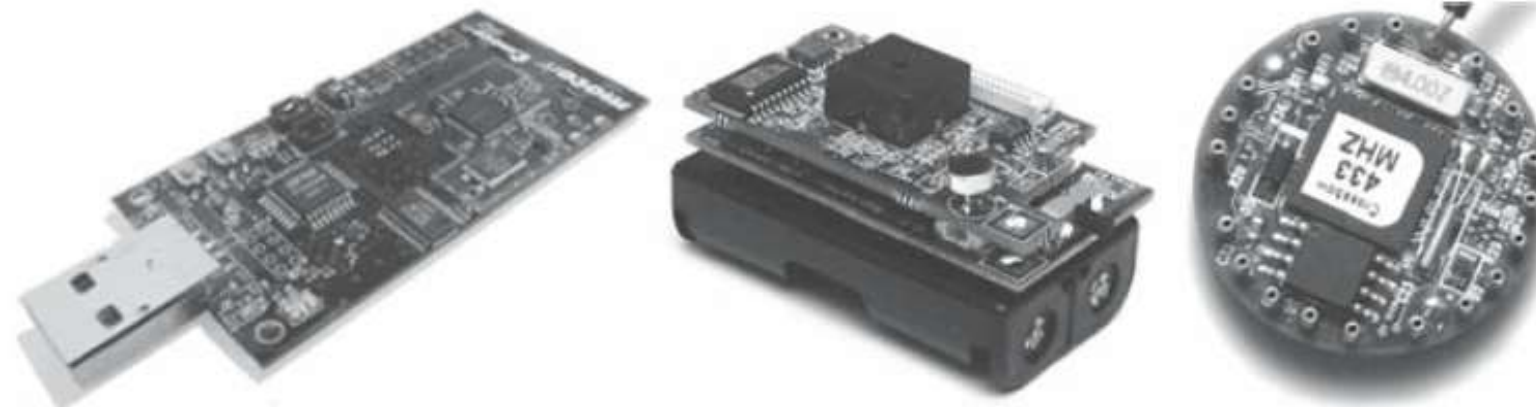
většina je určena pro specifické aplikace, jako je životní prostředí, energie, monitoring, lékařské aplikace apod.



Platformy bezdrátových senzorových uzlů

Hardware *Mica*

- Pravděpodobně nejvíce používaná platforma.
- Systém byl vyvinutý na **UNI Berkeley**
- Základní deska obsahuje řízení výkonu, procesor, bezdrátové vysílače a antény.
- Mica byl navržena s cílem optimalizovat senzorové rozhraní, univerzální platforma pro bezdrátovou senzorovou síť.
- Používá jednoduchou modulaci RFM rozhlasového vysílače
- Verze Mica2 a Mica2Dot, byly navrženy s optimalizací spotřeby.
- MicaZ je navržena jako kompatibilní k IEEE 802.15.4.

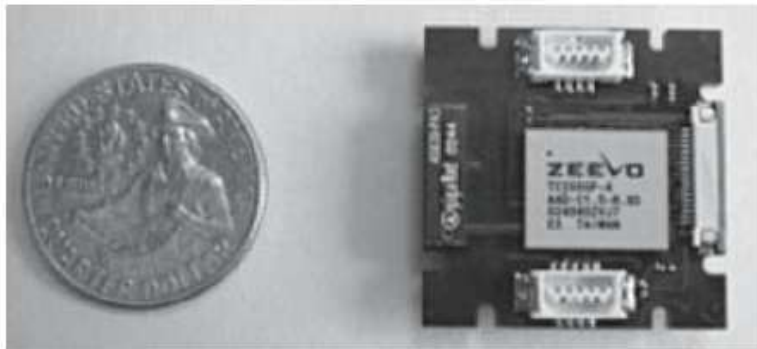


*Bezdrátové
senzorové uzly
Mica2, Mica2Dot
and TMote Sky*

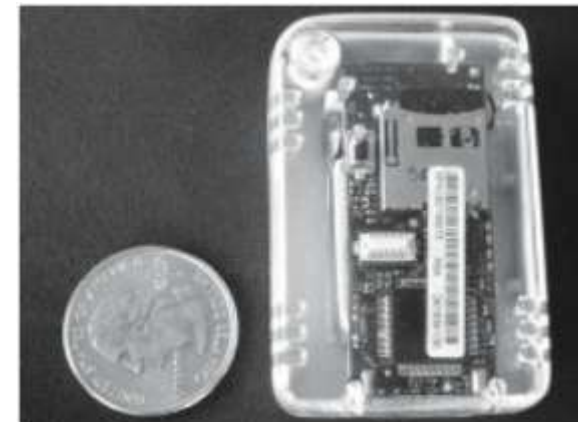
Platformy bezdrátových senzorových uzlů

Motes od Intel

- navrženy **pro náročnější aplikace** z hlediska množství zpracovávaných informací s využitím fúze a agregace dat
- Platforma Intel Mote2 pracuje se ZigBee 802.15.4
- V roce 2005 Intel Digital Health Group vytvořila mote SHIMMER orientovaný na lékařské aplikace



Intel I-Mote a I-Mote2



Intel SHIMMER Mote

Platformy bezdrátových senzorových uzlů

BT node (ETH v Zurich)

- autonomní bezdrátová komunikační a výpočetní platforma založenou na Bluetooth s nízkopříkonovým přijímačem a mikrokontrolerem.
- Výhoda platformy - potenciál k činnosti v heterogenní síti, uzel může dokonce sloužit jako most mezi Bluetooth systémem a nízkopříkonovými sítěmi.

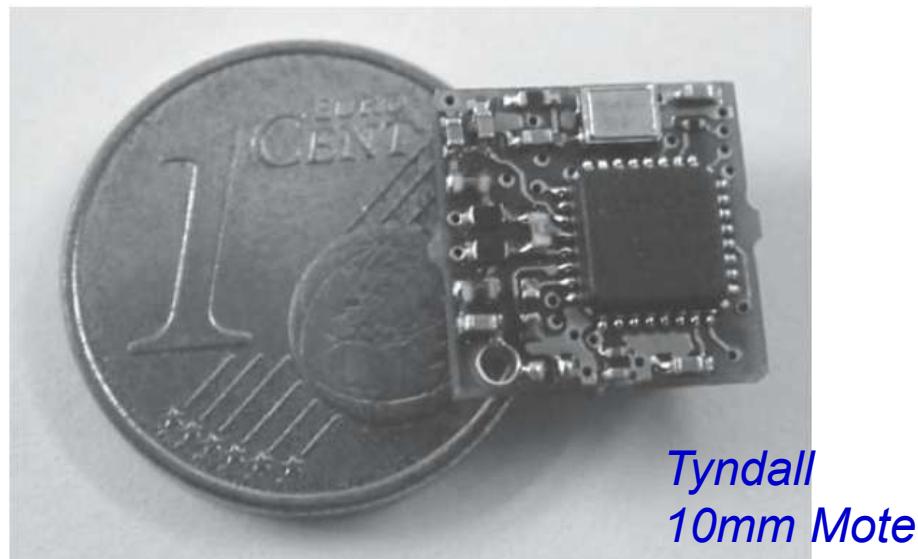
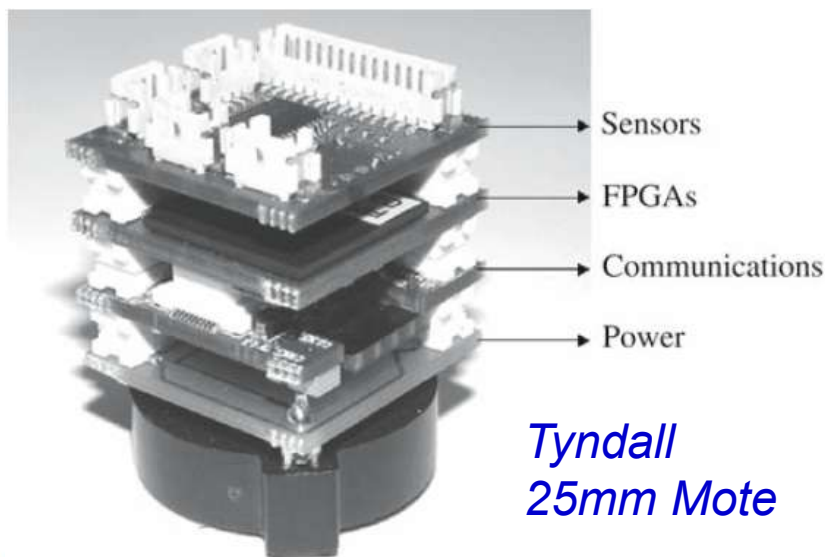


BT Node

Platformy bezdrátových senzorových uzlů

Tyndall Mote (Irsko)

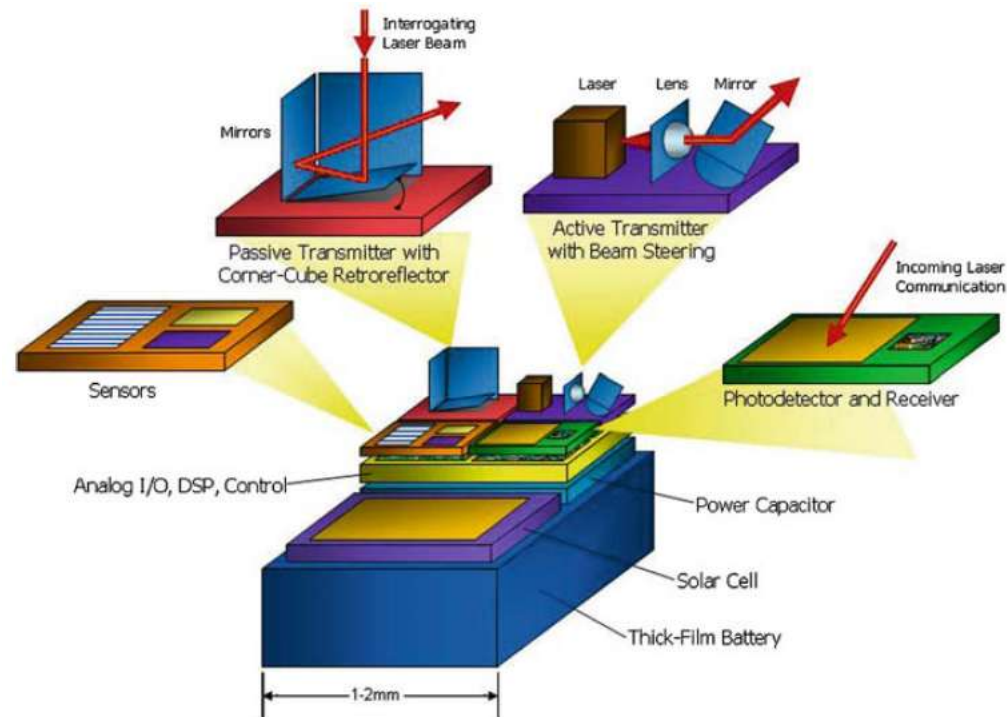
- kompaktní, vysoce **rekonfigurovatelný** a **modulární** mote
- řada kompatibilních zákaznický navržených vrstev
- Komunikační vrstva obsahuje ZigBee kompatibilní, 2,4 GHz, 868 MHz a 433 MHz, ATmega128L a rozsáhlou knihovnou C ovladače slučitelných s TinyOS a dalších standardních operačních systémů



Projekty Smart Dust, E-Grain a e-Cubes

Projekt Smart Dust (Inteligentní prach) UNI Berkeley

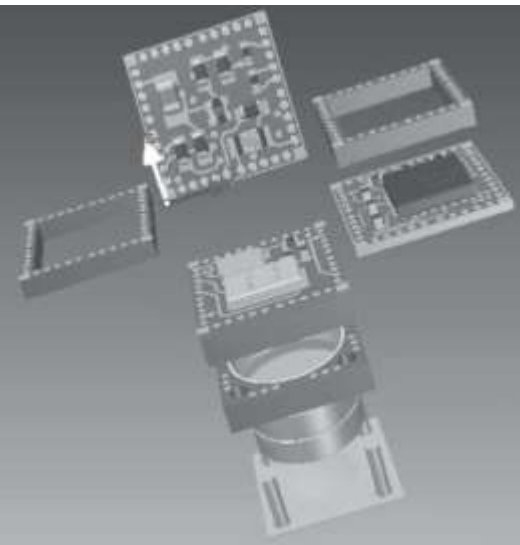
- projekt měl využít pokrok v mikroelektronice a bezdrátové komunikaci, projekt počítá s nízkopříkonovým počítačem o objemu mm^3 .
- Tento Mote s objemem mm^3 by měl obsahovat **baterie, obousměrnou komunikaci, digitální logické obvody a senzory.**



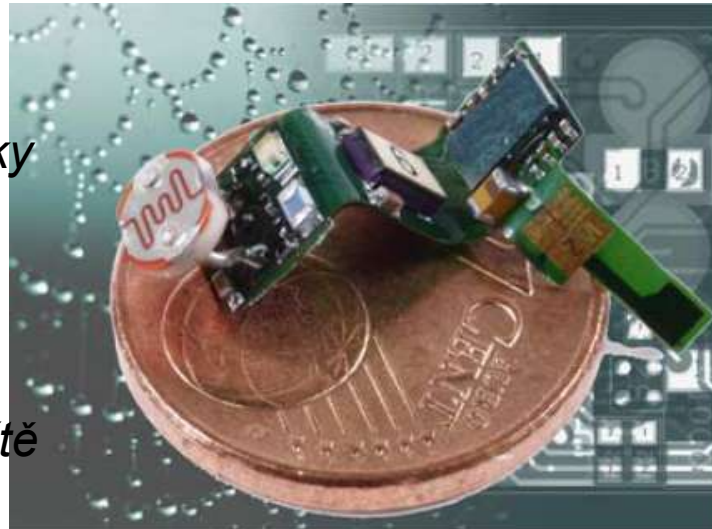
Projekty Smart Dust, E-Grain a e-Cubes

Projekt e-Grain (Fraunhofer institut)

- Mikrosystémové **vrstevné** technologie
- Každý funkční blok realizovaný jako **miniaturní modul**
- Jednotlivé moduly obsahují **senzory, obvody úpravy signálu, komunikaci, napájení apod.**
- Projekt je zaměřen na rozvoj potřebné systémové integrace a technologií k dosažení distribuovaného mikrosystému.



*e-Grain,
modulární
stavební bloky
senzorového
uzlu k
zařazení do
inteligentní
senzorové sítě*



*Ultraminiaturní
senzorový uzel
pro snímání
informace okolí
a komunikaci*

Projekty Smart Dust, E-Grain a e-Cubes

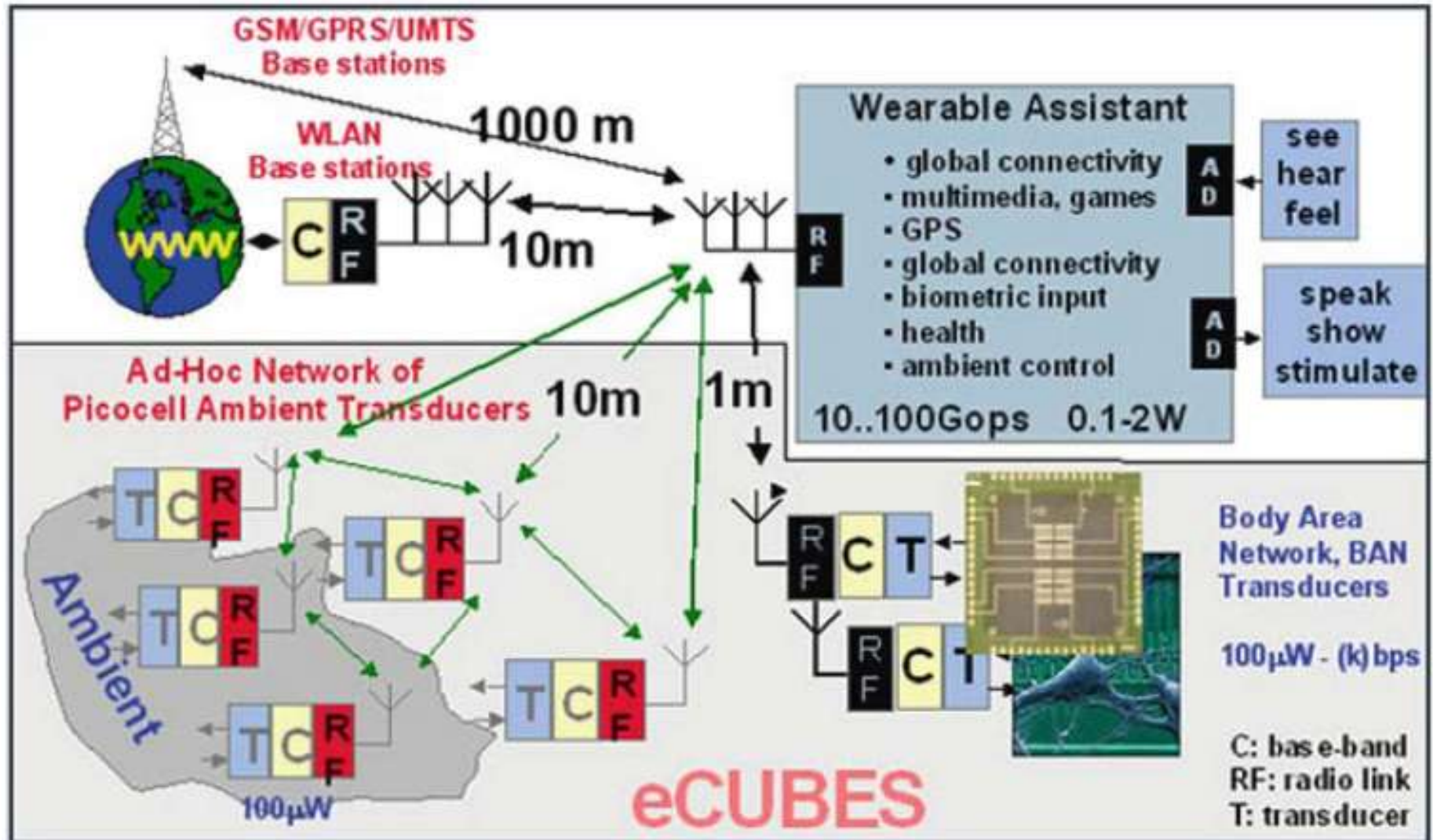
eCubes Fraunhofer Institut a TU Berlín

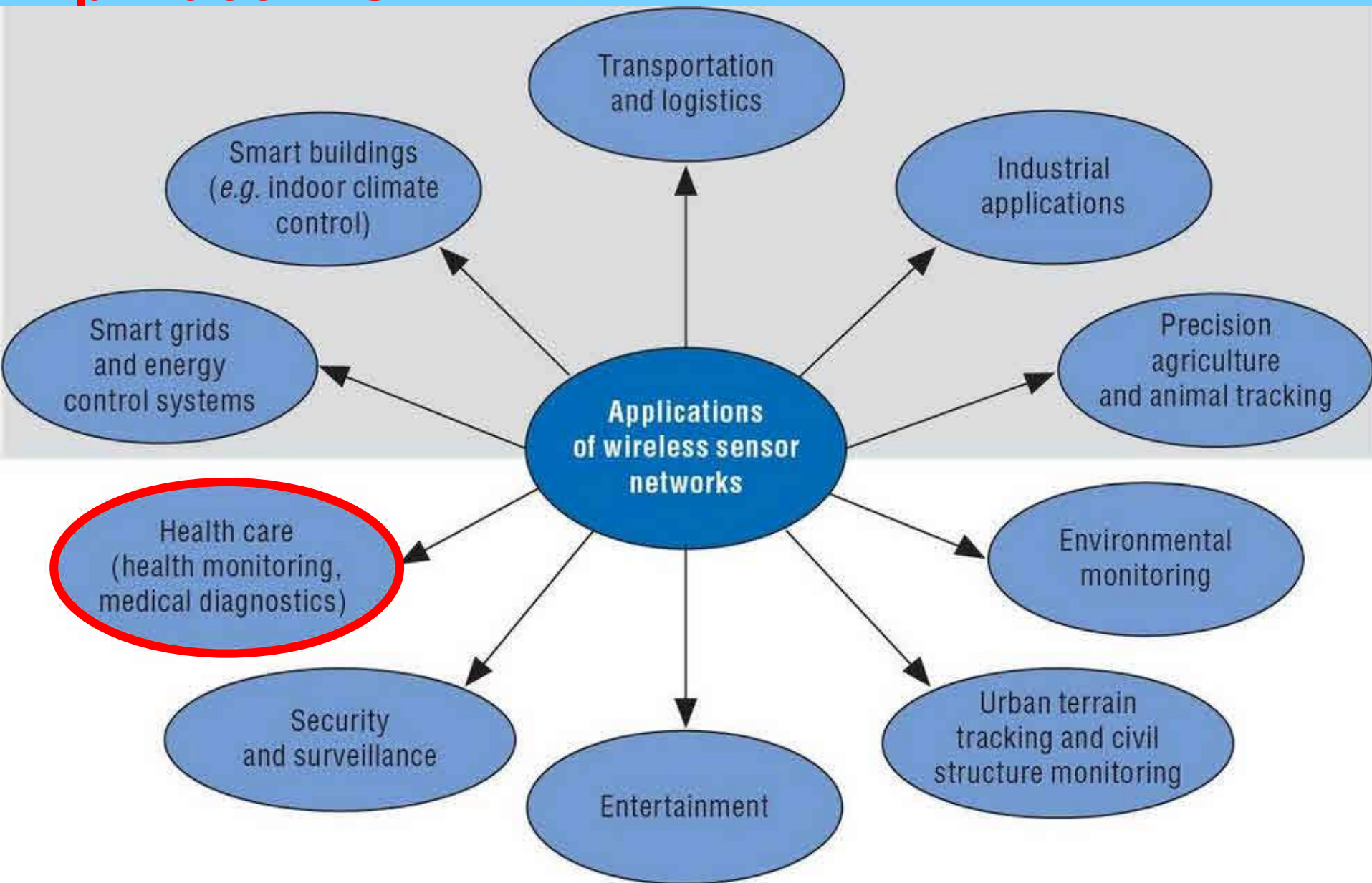
- Využití pro realizaci cenově efektivního mikrominiaturního, autonomního systému pro zařazení do inteligentní sítě.
- Pro realizaci se využívají mikrosystémové 3D technologie.
- 3D systém funkčních submodulů, z nichž každý je sám o sobě 3D systém různých (heterogenní) funkčních vrstev.
- Cílový objem systému e-kostky menší než 1 cm^3 .
- Využití se předpokládá především v oblastech zdraví, letectví a kosmonautika a automobilový průmysl a další.



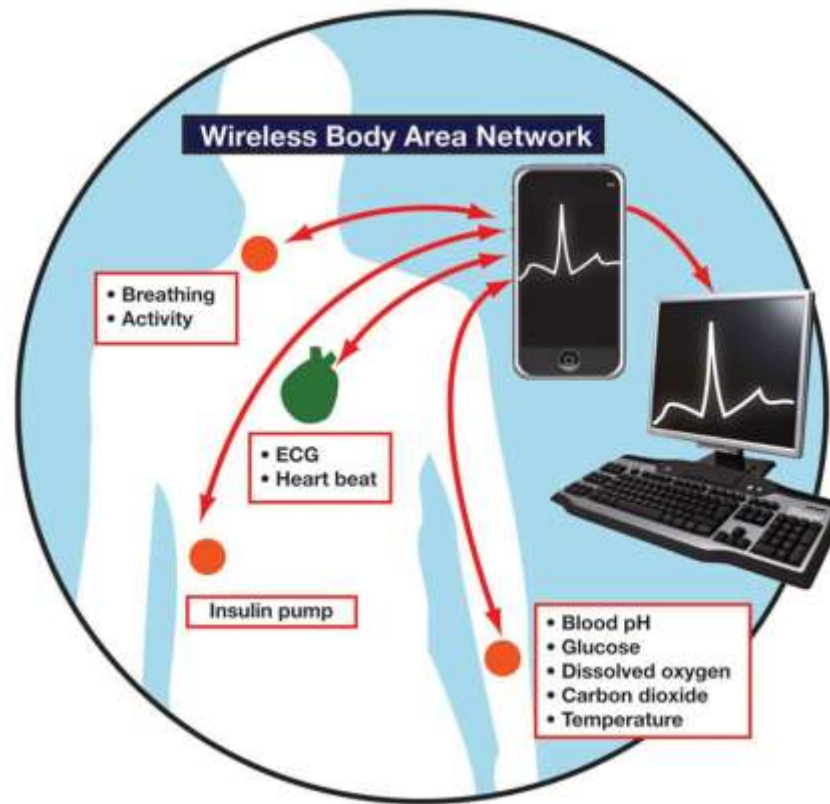
Projekty Smart Dust, E-Grain a e-Cubes

eCubes - koncepce



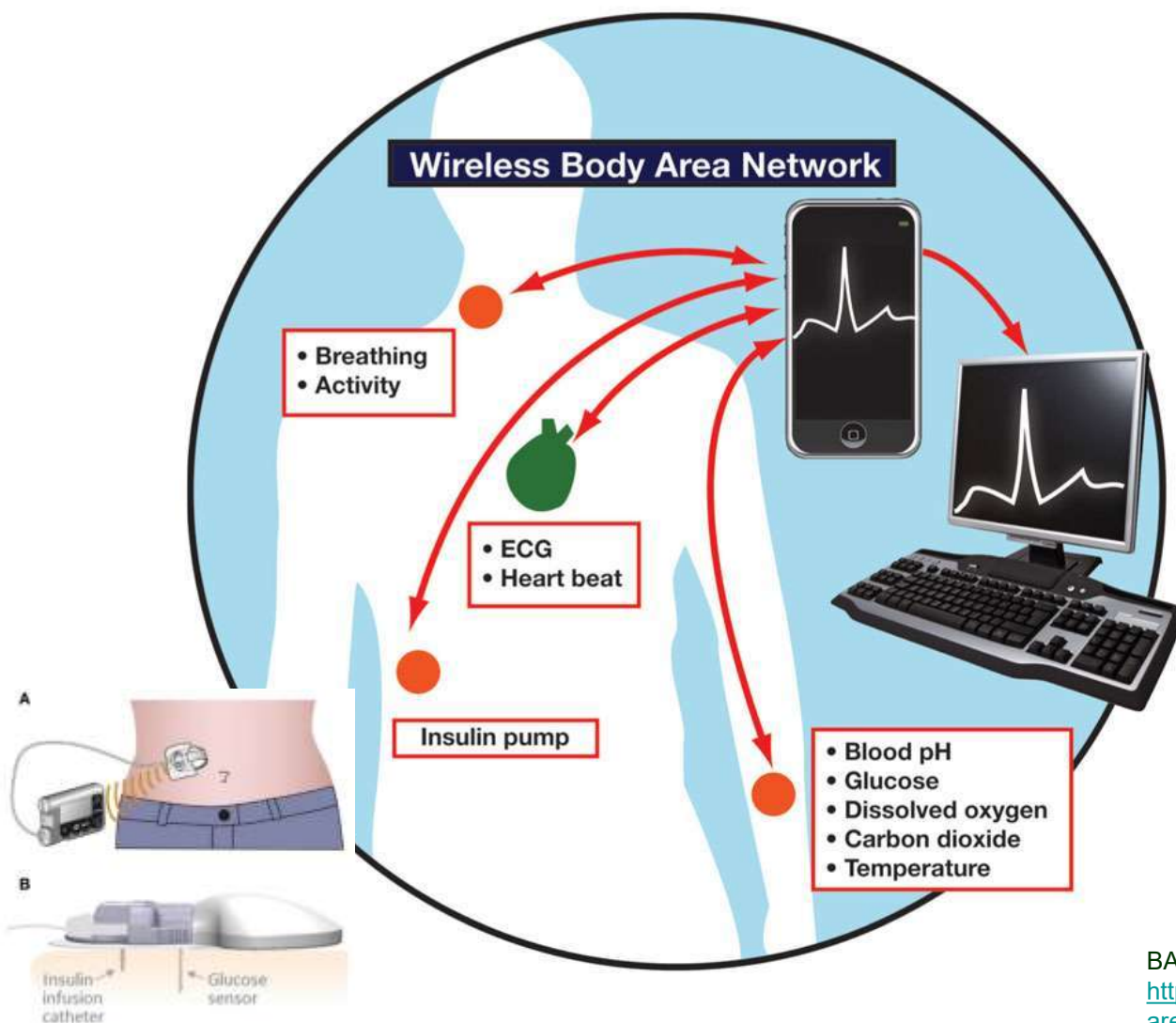


Senzorové sítě v biomedicíně



Senzorové sítě v lékařství (BAN)

Senzorová síť v lékařství BAN (Body Area Network)



Typické využití:

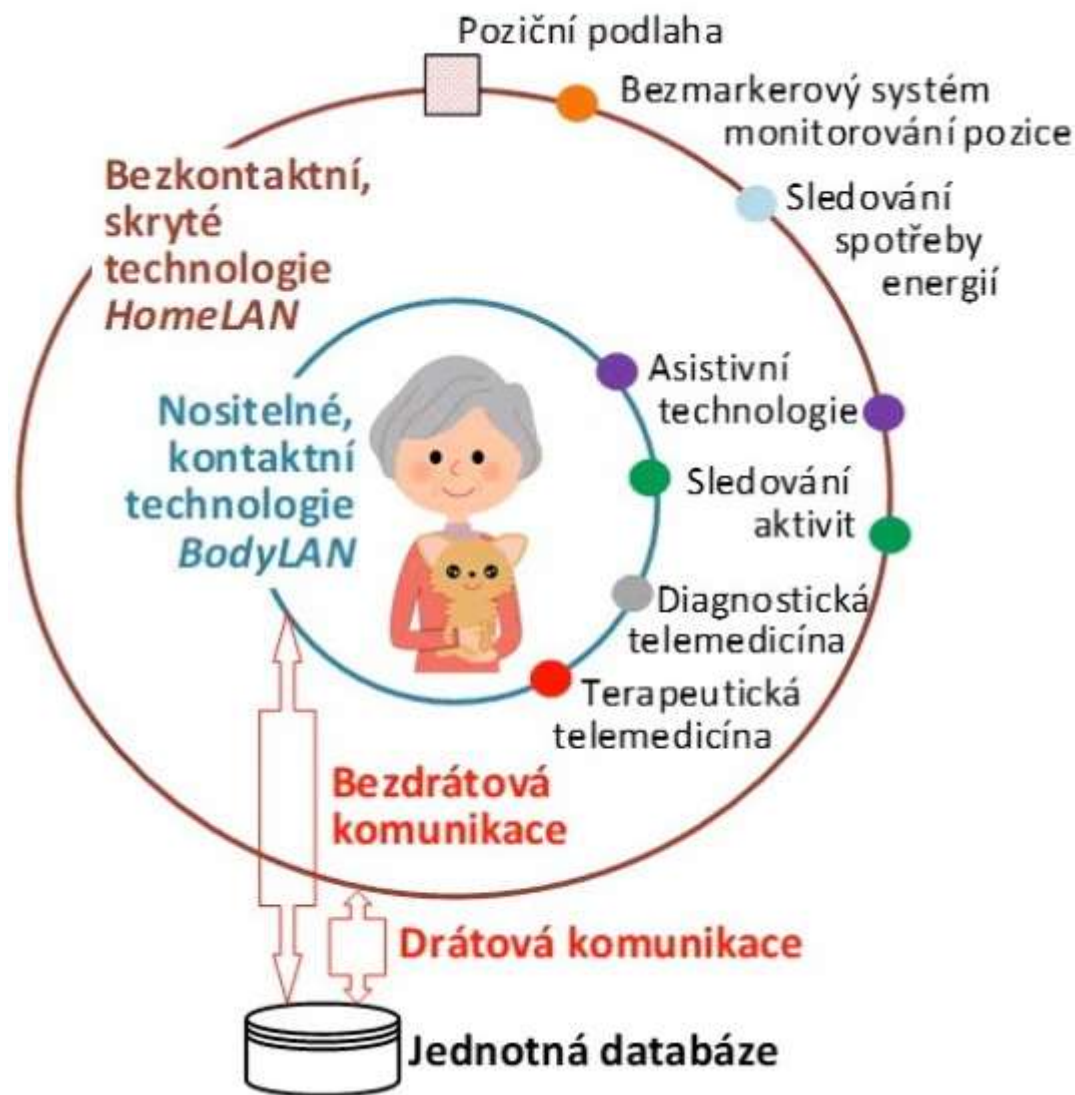
- ☐ elektroencefalografii (EEG)
- ☐ elektrokardiografii (EKG)
- ☐ elektromyografii (EMG)
- ☐ electrooculografie (EOG)
- ☐ Teplota, tlak
- ☐ vodivost kůže
- ☐ apod.



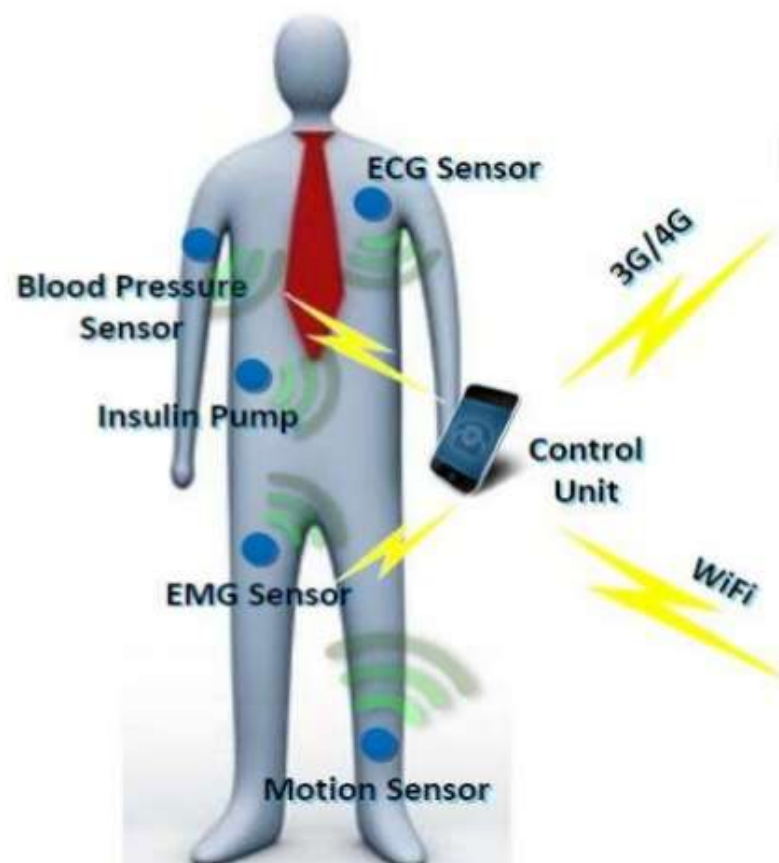
BAN Body Area Network,
<http://psychickeobtezovani.webnode.cz/news/ban-body-area-network/>,

Senzorové sítě v lékařství (BAN)

Biotelemetrické senzorové systémy

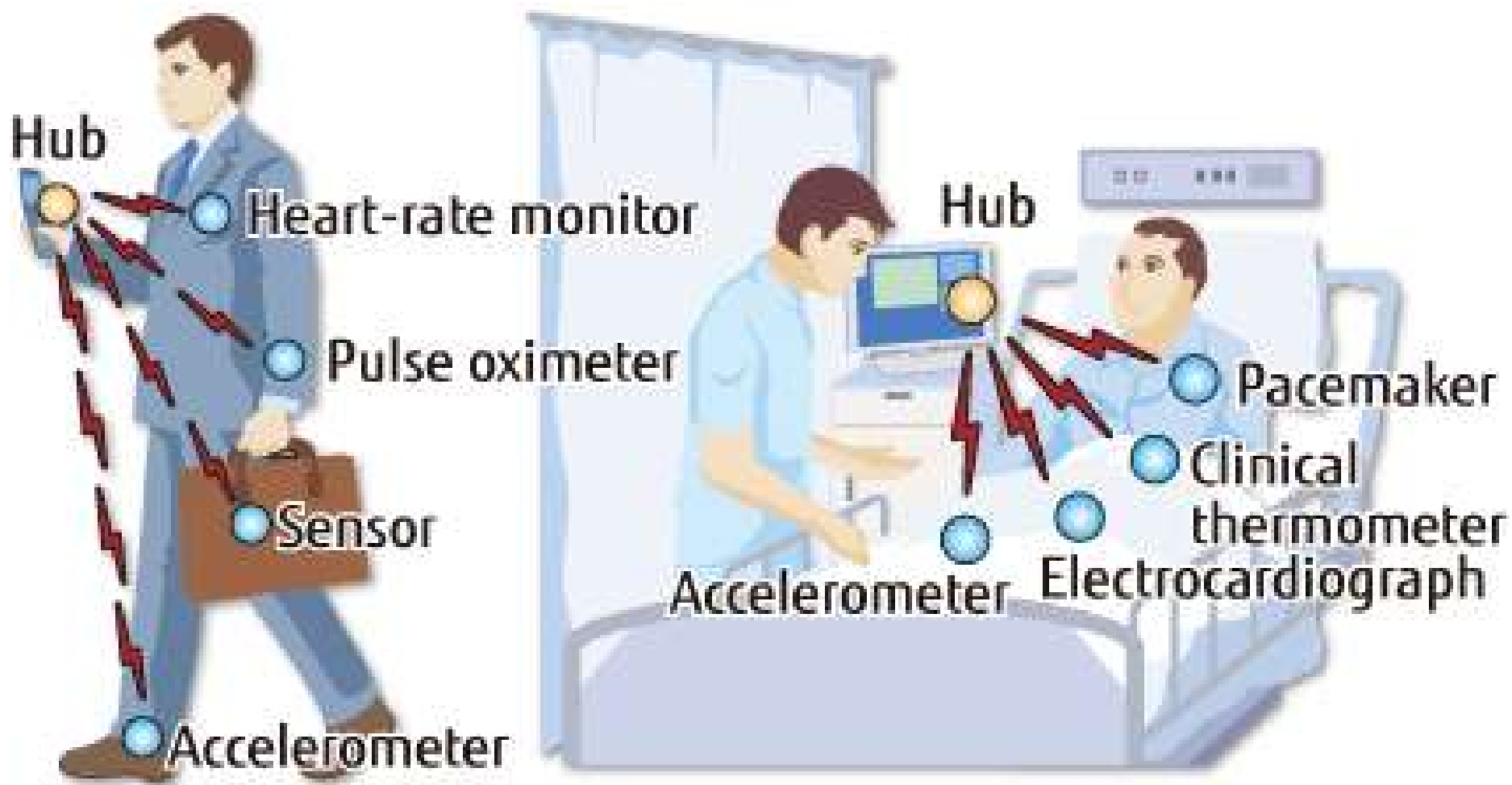


CHARACTERIZATION OF ON-BODY CHANNEL



- The human body is hostile to electromagnetic waves propagation due to its lossy dielectric properties.
- Being a dispersive medium dielectric properties of human body change with frequency and it influences channel characteristics.
- Being electrically large compared to the operating microwave frequency, body parts will scatter and absorb the propagating waves.

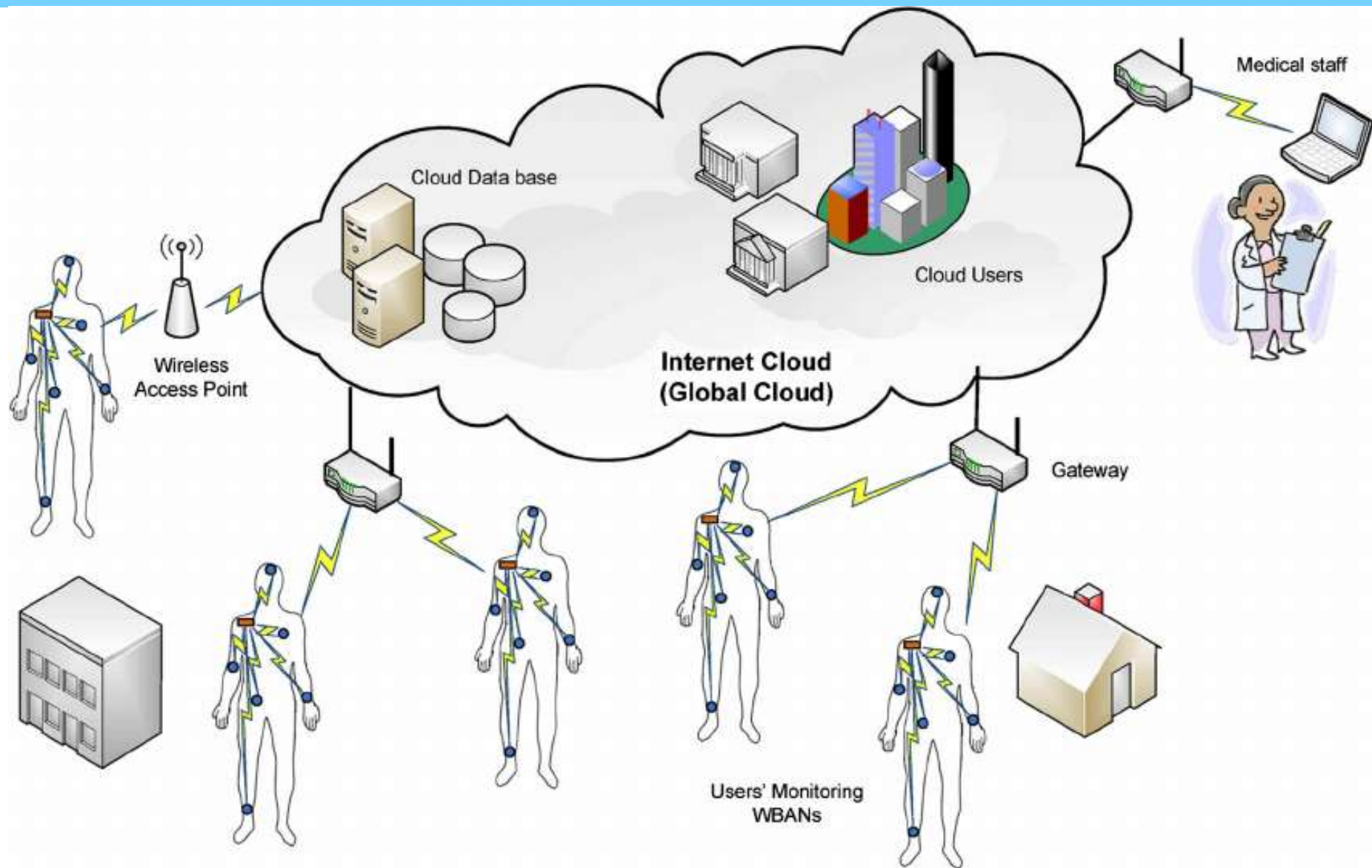
Senzorové sítě v lékařství (BAN)



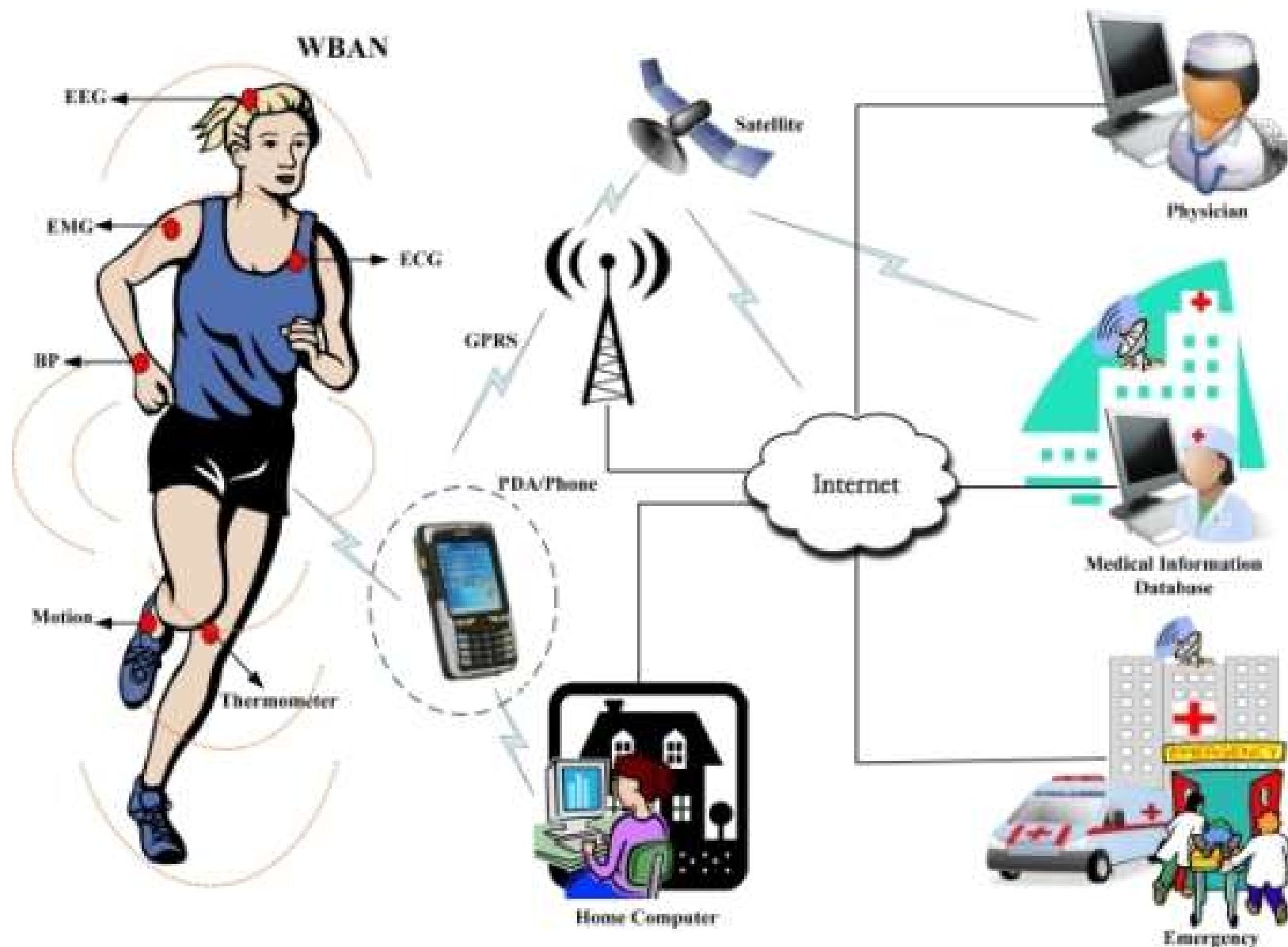
prevence

nemocnice

Senzorové sítě v lékařství (BAN)

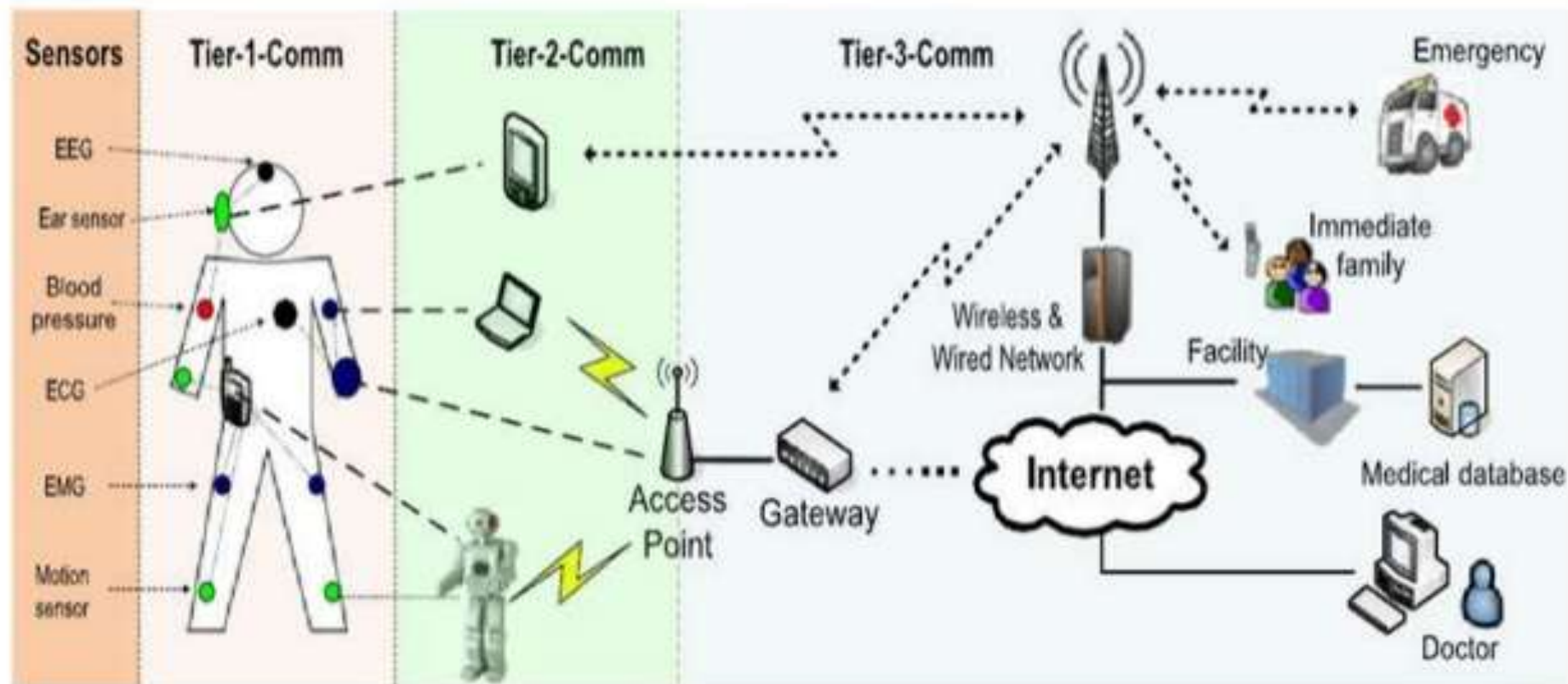


Senzorové sítě v lékařství (BAN)

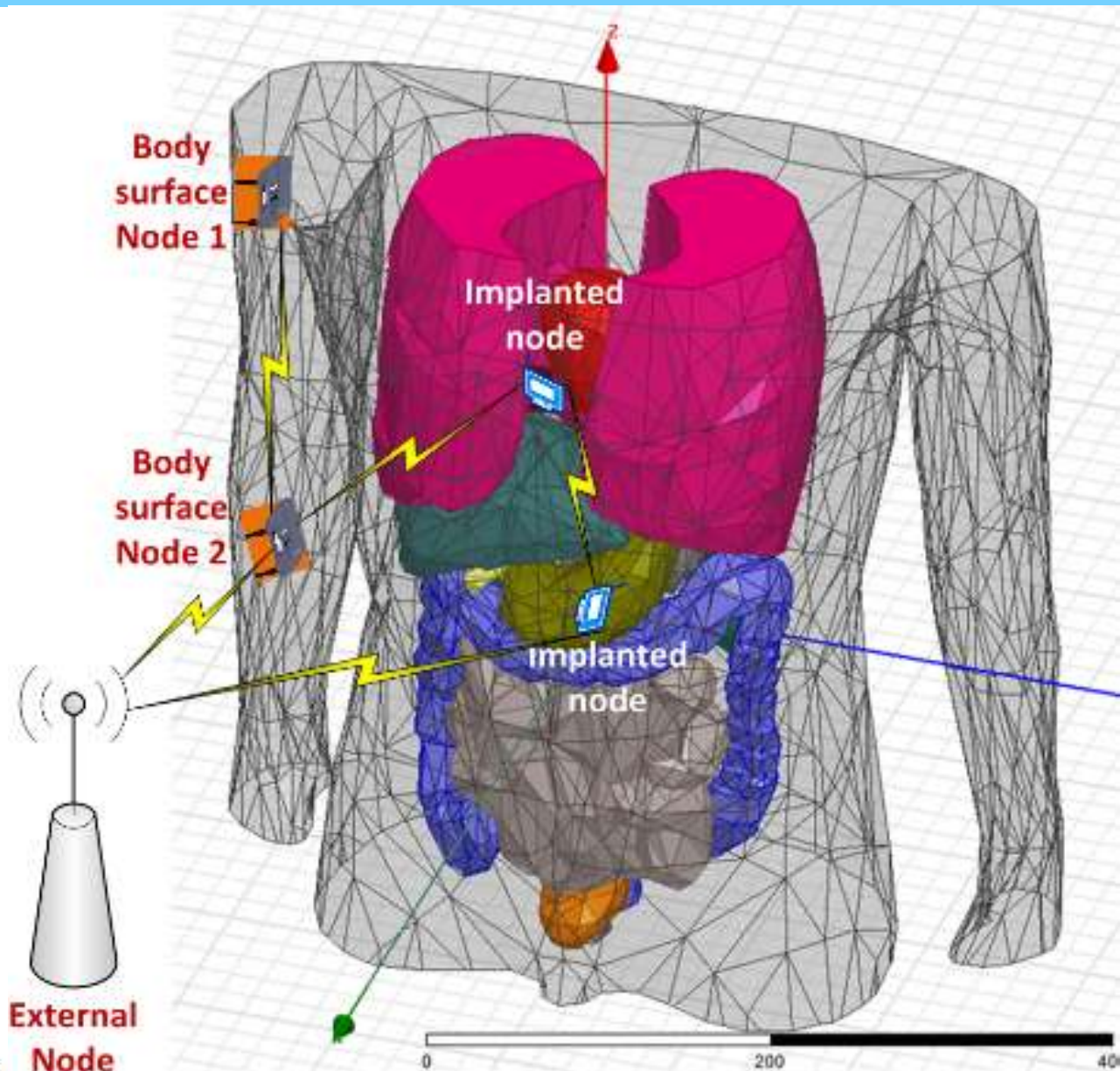


Senzorové sítě v lékařství (BAN)

3 Tire Architecture :



Implantovaná senzorová síť BAN



Senzorové sítě v lékařství (BAN)

- ❑ **BAN zařízení** - malé, přenosné a implantovatelné systémy pro monitorování pacienta nebo zdravotního stavu sportovců, vojáků...
- ❑ **Uplatnění** – kontinuální monitorování stavu pacienta, popř. kde je obtížně dostupný lékař
- ❑ **Implantované senzory BAN** - sledování parametrů srdce, mozku a míchy, systémy umožňují aktivní stimulaci a fyziologické monitorování, nezbytné pro diagnostiku některých chronických onemocnění (např. mozková stimulace pro léčení Parkinsonovy choroby, páteřní stimulatory pro léčení chronických bolestí nebo stimulatory močového měchýře pro inkontinenci moči)

☹ **Nevýhoda**

- ❑ **Biokompatibilita** pro činnost v blízkosti nebo uvnitř lidského těla
- ❑ **Odolnost vůči rušení** rádiových frekvencí (proti WiFi sítě, μ W trouby, mobil)



😊 Pozitivní:

Bezdrátové senzorové systémy jsou klíčové prvky hardwarové platformy potřebné ke konstrukci WSN, byly umožněny důsledkem rozvoje mikrotechnologií:

- **Pokrok ve VLSI technologiích** směřující k nanotechnologiím vedl k vývoji miniaturních, laciných nízkopříkonových mikrokontrolérů.
- **Pokroky v RF technologiích současně s CMOS technologiemi** vedly k vývoji vysoce integrovaných a výkonných RF přijímačů s jednočipovými integrovanými funkčními bloky.
- **MEMS technologie** umožnily vývoj laciných, nízkopříkonových, mikrominiaturních senzorů a dalších součástí funkčních bloků.

😞 Negativní:

- **Napájecí zdroje** resp. baterie jsou nejslabším článkem v rozvoji WSN

Otázky ke zkoušce

1. Nakreslete princip vytváření senzorových sítí pro IoT
2. Nakreslete princip činnosti senzorového uzlu a jeho a zapojení do senzorové sítě

