

# Úvod senzoričkých síť



Distribuované systémy 2008

Lekce 12

Ing. Jiří Ledvina, CSc.

## Co jsou to senzoričké síť

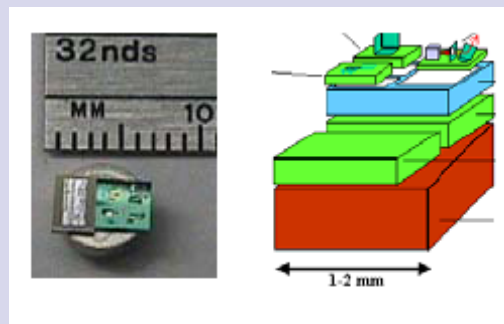


- Mikrosenzor - Mote – malý, bezdrátový, napájený z baterií

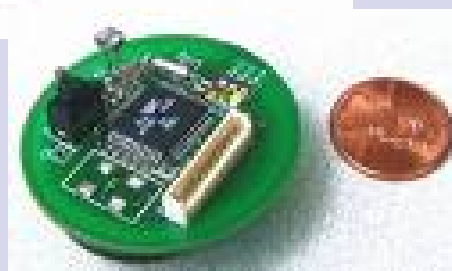
MICA2 mote



Smart Dust



# Tmote, Telos, Mica, Berkeley Mote



15.12.2008

Distribované systémy

3

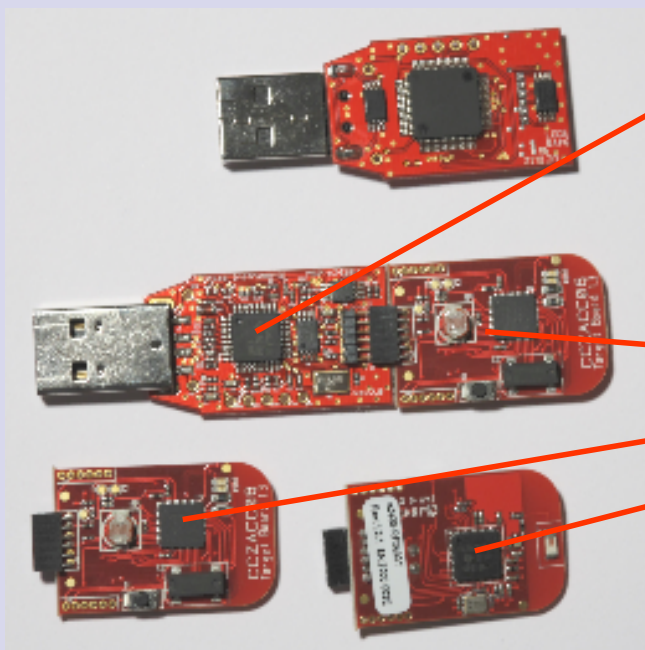
## Vývoj mikrosenzorů



Mote Type Year	Wic 1998	Revé 1999	Revé 2 2000	Dot 2000	Mica 2001	Mica2Dot 2002	Mica 2 2002	Telos 2004
<b>Microcontroller</b>								
Type	AT90LS8535		ATmega163		ATmega128			TI MSP430
Program memory (KB)	8		16		128			60
RAM (KB)	0.5		1		4			2
Active Power (mW)	15		15		8		33	3
Sleep Power (µW)	45		45		75		75	6
Wakeup Time (µs)	1000		36		180		180	6
<b>Nonvolatile storage</b>								
Chip	24LC256				AT45DB041B			ST M24M01S
Connection type	I <sup>2</sup> C				SPI			I <sup>2</sup> C
Size (KB)	32				512			128
<b>Communication</b>								
Radio	TR1000				TR1000	CC1000		CC2420
Data rate (kbps)	10				40	38.4		250
Modulation type	OOK				ASK	FSK		O-QPSK
Receive Power (mW)	9				12	29		38
Transmit Power at 0dBm (mW)	36				36	42		35
<b>Power Consumption</b>								
Minimum Operation (V)	2.7		2.7		2.7			1.8
Total Active Power (mW)	24				27	44	89	41
<b>Programming and Sensor Interface</b>								
Expansion	none	51-pin	51-pin	none	51-pin	19-pin	51-pin	10-pin
Communication	IEEE 1284 (programming) and RS232 (requires additional hardware)							USB
Integrated Sensors	no	no	no	yes	no	no	no	yes



# MSP- eZ430U + eZ430-RF2480



## USB Flash programátor

- MSP430F1612
- USB

## eZ430-RF2480

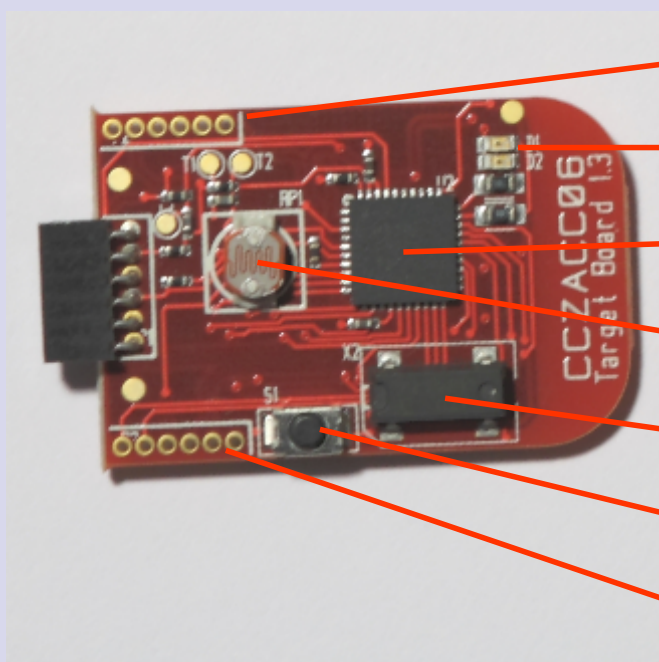
- CC2480 – ZigBee
- MSP430F2274

15.12.2008

Distribované systémy

5

# eZ430-RF2480 (líc)



Konektor

LED

ZigBee procesor (CC2480)

Optické čidlo

Stabilizátor napětí

Tlačítko

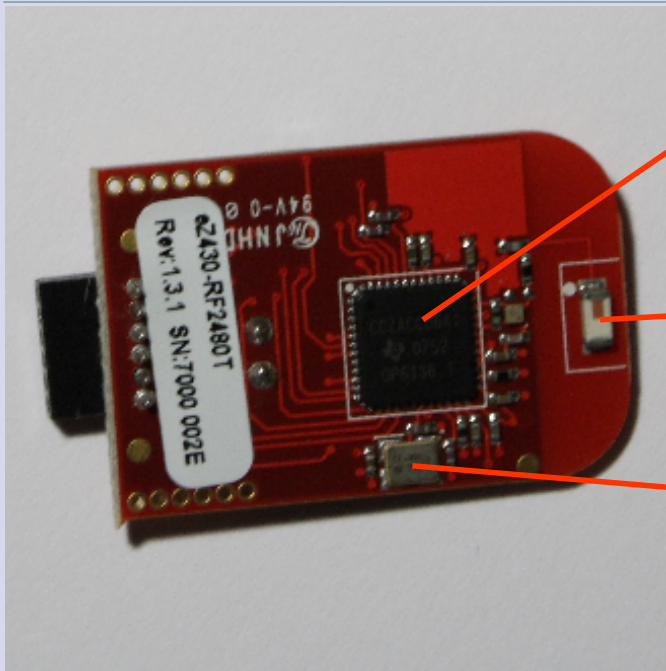
Konektor

15.12.2008

Distribované systémy

6

## eZ430-RF2480 (rub)



Procesor  
(MSP430F2274)

Integrovaná anténa

Krystal

15.12.2008

Distribované systémy

7

## Nevýhody tradičních senzorů



- Rozměrné, propojené vodiči
- Drahé, nevykonné, těžko rozmístitelné, energeticky náročné
- Nevhodný pro sledování dějů v „čisté“ přírodě – rozmisťování rozměrných senzorů (monitorování životního prostředí, pohybu zvířat)
- Nevhodný pro rozmisťování v nebezpečném prostředí (vojenství, sopka, vesmír, ... )

15.12.2008

Distribované systémy

8

# Aplikace bezdrátových senzorů



- Monitorování seismických aktivit



15.12.2008

Distribuované systémy

9

# Aplikace bezdrátových senzorů



- Monitorování mořských mikroorganismů



15.12.2008

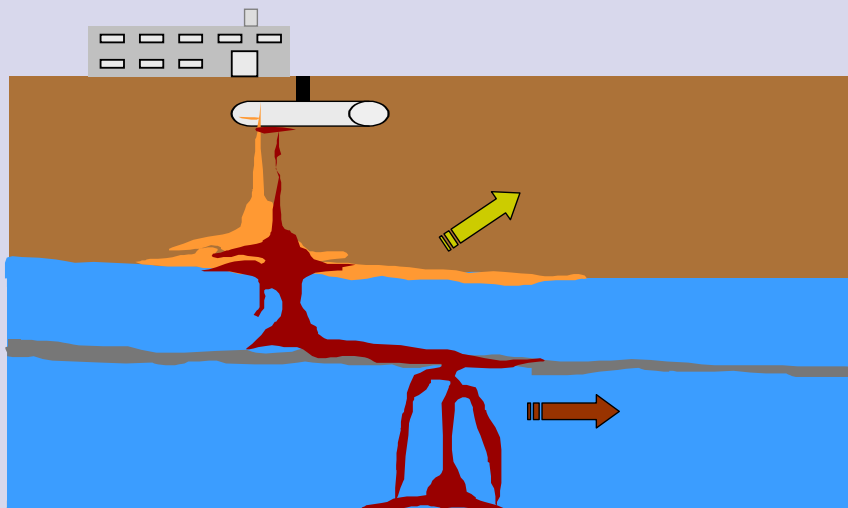
Distribuované systémy

10

# Aplikace bezdrátových senzorů



- Monitorování kontaminace moří



15.12.2008

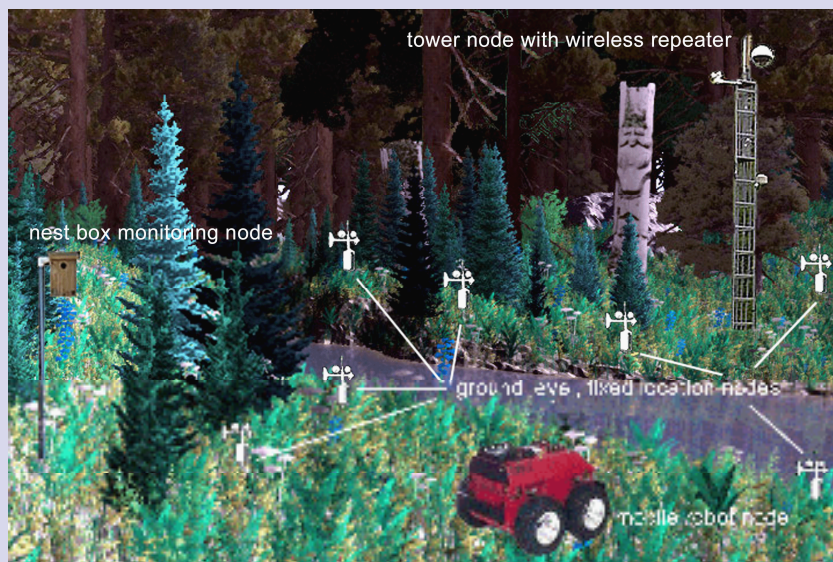
Distribuované systémy

11

# Aplikace bezdrátových senzorů



- Komplexní monitorování přírody



15.12.2008

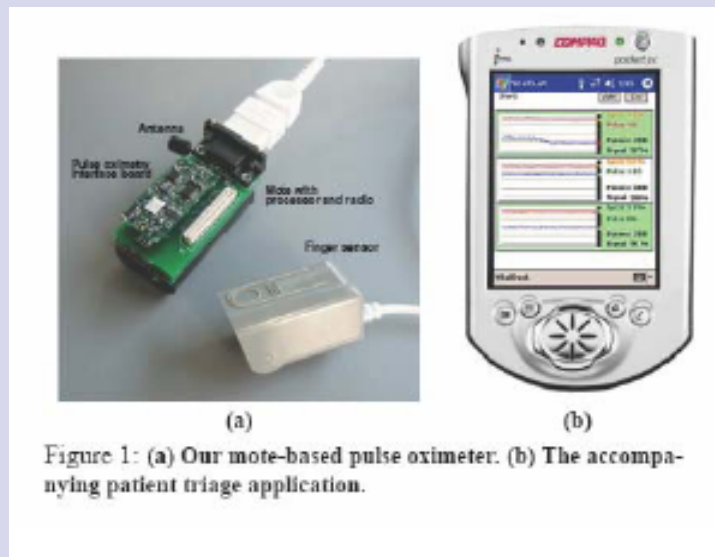
Distribuované systémy

12



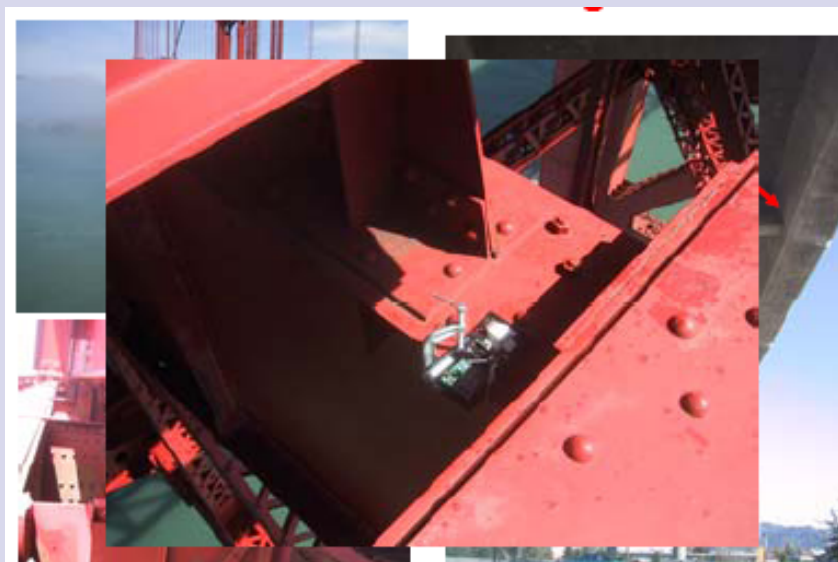
# Aplikace bezdrátových senzorů

- Medicínské aplikace



# Aplikace bezdrátových senzorů

- Monitorování namáhaných konstrukcí (mosty)



# Aplikace bezdrátových senzorů



- Aplikace související s životem v civilizaci
  - „chytré budovy“ – EZS, EPS
  - Průmyslová automatizace, aplikace v energetice
  - Řízení provozu na komunikacích, monitorování polohy
  - Udržování komunikační a jiné infrastruktury (mosty, budovy, ...), seismické monitorování
  - Medicínské aplikace, monitorování zdraví
  - Monitorování vnitřního i vnějšího prostředí, ekologie
  - Monitorování pohybu zvířat
  - Vojeinství a bezpečnost

# Aplikace bezdrátových senzorů



- Obecně převod (neelektrických) veličin do číselného tvaru
  - Teplota, osvětlení, hluk, vibrace, namáhání konstrukcí, vlhkost, kyselost, výška hladiny, magnetické pole, ...
  - Sledování chodu zařízení (otáčky, tlak, napětí)
- Nové možnosti
  - Sledování pohybu
  - Předpověď počasí
  - Nepřímé monitorování



# Požadované vlastnosti mikrosenzorů



- Laciné mikrosenzory, umožňující zpracování dat, shromažďování dat, vzájemná komunikace
- Ad-hoc rozmisťování umožněné bezdrátovou komunikací, nevyžadují speciální komunikační infrastrukturu
- Možnost monitorování v „polních“ podmínkách
- Možnost mobilního monitorování
- Možnost „hustého“ monitorování
- Odolnost proti poruchám
- Cíl – monitorování dříve nemonitorovatelných objektů a událostí

# Bezdrátové senzorické sítě



- Velmi odlišné požadavky na senzorické sítě (v porovnání s klasickými sítěmi)
- Nové požadavky na strukturu mikrosenzorů
  - Procesor s minimální spotřebou, schopný rychle přejít do neaktivního stavu
  - Přítomnost dostatečného paměťového prostoru pro ukládání dat (s minimálními nároky na napájení)
  - Zabudované senzory s minimálními požadavky na napájení
  - Speciální požadavky na bezdrátový přenos dat (malé vzdálenosti, rychlé přenosy)



## Bezdrátové senzorní sítě

- Nové požadavky na topologii sítě (propojení)
  - Nové směrovací algoritmy
  - Odolnost proti výpadkům a poruchám senzorů
  - Odolnost proti rušení při přenosu dat
- Požadavky na lokalizaci mikrosenzorů
  - Pozice záleží na tom, kam se „zahodí“
  - Použití GPS nereálné (rozměry, cena)
- Nové požadavky na získávání dat
  - Nemožnost adresovat jednotlivé mikrosenzory
  - Analogie s databázemi – vyhledání dat podle klíče



## Bezdrátové senzorní sítě

- Nové požadavky na rozměry mikrosenzorů
  - Požadavek malých rozměrů
- Nové požadavky na napájení
  - Minimalizace odběru energie
  - Samostatné napájení – možnost rozmístit na několik let
- Nové požadavky na počet mikrosenzorů v síti
  - Desítky, stovky a tisíce podle aplikace
  - Požadavek nízké ceny



# Architektura systému

- Vychází z úrovnového modelu ISO/OSI
- Fyzická úroveň
  - Výběr vhodné bezdrátové sítě (Zigbee, Bluetooth, ...)
- Přístupová úroveň
  - Výběr vhodné přístupové metody (CSMA/CA)
  - Minimalizace doby naslouchání
  - Minimalizace kolizí
  - Distribuovaná metoda, minimální znalost okolí
- Linková úroveň
  - Minimalizace doby přenosu
  - Předpoklad přenosu krátkých samostatných zpráv



# Architektura systému

- Síťová úroveň
  - Mechanismus adresování
  - Mechanismus směrování
- Transportní úroveň
- Distribuční síť
  - Algoritmy určení polohy mikrosenzoru
  - Algoritmy pro určení topologie
  - Časová synchronizace
- Aplikační úroveň
  - Mechanizmy vyhledávání informace
  - Zpracování dotazů
- Operační systém (TinyOS)



# Architektura systému

- Základní procesy (zásobník procesů)
  - Procesy pro zpracování aplikací
  - Proces pro určení polohy (mobilita)
  - Proces pro řízení spotřeby



# Architektura systému (úrovně)

- Společné zpracování událostí
- Organizace front a spouštění úloh
- Zpracování dat
  - Směrování (data centric), agregace a komprese dat, ukládání dat
- Společné zpracování signálů
  - Lokalizace polohy, časová synchronizace, kalibrace, řízení přístupu k médiu
- Operační systém
- Hardware
  - Mikrokontrolér, vysílač/přijímač, senzory



## Parametry mikrosenzorů

- Zabudovaný 8 bitový mikroprocesor (ATmega128, Freescale, ... )
- Paměť na data (RAM KiB)
- Paměť na program (FLASH MiB)
- Úložiště dat (MiB)
- Radio (dosah desítky metrů, rychlost přenosu kb/s až Mb/s)
- Napájení z baterie



## Parametry mikrosenzorů

- Příklad - Mica2
  - ATmega 128L, 7.3827MHz
  - 128 KiB EEPROM
  - 4 KiB RAM
  - 128KiB FLASH
  - UART
  - ADC
  - Chipcorn CC1000 Radio Transciever
  - Rychlost přenosu 38 kb/s
  - Napájení 2AA

# Čidla



- Mikrosenzory mechanické
  - Akcelerace, vibrace, gyroskop, náklonu, magnetická, tepelná, pohybu, tlaku, rychlosti, světla, deště, vlhkosti, tlaku, zvuku
- Chemické
  - CO, CO<sub>2</sub>, radon, PB, O<sub>2</sub>
- Biologické
  - Patogenní detektory
- Multimediální
  - CCD kamery (90x90)
- Akční prvky (zrcadla, motory, chytré povrchy, mikroroboti, magnety, zdroje světla, ...)

# Varianty monitorování



- Mobilní nebo nemobilní mikrosenzory
  - Problém polohy
- Diskrétní nebo kontinuální monitorování
  - Problém vzorkování, shromažďování dat
- Monitorování v RT nebo monitorování pro pozdější analýzu
  - Synchronizace měření a přenosu
  - Zpracování nahromaděných dat, jejich výběr
- Náhodné dotazování nebo periodické (kontinuální) dotazování
  - Detekování událost
  - Zatížení sítě



# Fyzická úroveň

- Záležitost hardware
  - Výběr frekvence
  - Generování signálu (MAC)
  - Detekce signálu
  - Modulace
- Parametry
  - Nízká cena
  - Nízký výkon
  - Krátká vysílání v pásmu GHz
  - Rychlost přenosu 10Mb/s až 100Mb/s



# Fyzická úroveň

- Zigbee/IEEE 802.15.4
  - Pásmo 2.4GHz
  - Rychlost přenosu 250Kb/s
  - Dosah až 30m
- Pico radio
  - 100Kbps
  - Příkon do 100  $\mu$ W
- Další možnosti
  - Infračervené spektrum



## Linková úroveň

- Cíl
  - Vytváření síťové infrastruktury
  - Spravedlivé a efektivní sdílení komunikačních zdrojů mezi mikrosenzory
- Možnosti
  - Celulární sítě
  - Ad hoc sítě (802.11, Bluetooth)
- Multiplexování přenosů
- Detekce datových rámců
- Přístup ke komunikačnímu médiu
- Zpracování chyb



## Přístup k médiu

- Výběr podle kritéria minimální spotřeby
- Radiový přenos představuje největší požadavky na napájení
- Používá se CSMA/CA, plánování na aplikační úrovni, speciální metody vyvinuté pro tento účel





## Sít'ová úroveň

- Použité principy
  - Zajištění požadavku minimální spotřeby
  - Data-centric zpracování dat
  - Pokud je třeba výměna dat, pak pokud je to možné, využije se agregace dat
  - K adresování se nepoužívají síťové adresy ani jiný mechanismus vztahený k umístění mikrosenzoru
  - Adresování je založené na attributech (vyhledání uzlu s danou teplotou)
  - Uzly mohou (musí) znát svoji geografickou (vzájemnou) polohu (s teplotou se přenese i lokalita sondy)



## Sít'ová úroveň

- Směrování
  - Podle minimální potřebné energie (min. počet přeskoků)
  - Podle maximálního dostupného výkonu
- Data-centric směrování
  - Difuzní směrování - podle atributů, agregace dat
- Záplavové směrování
- Náhodné směrování (gossip)
  - Nejednotné šíření
- Geografické směrování



## Transportní úroveň

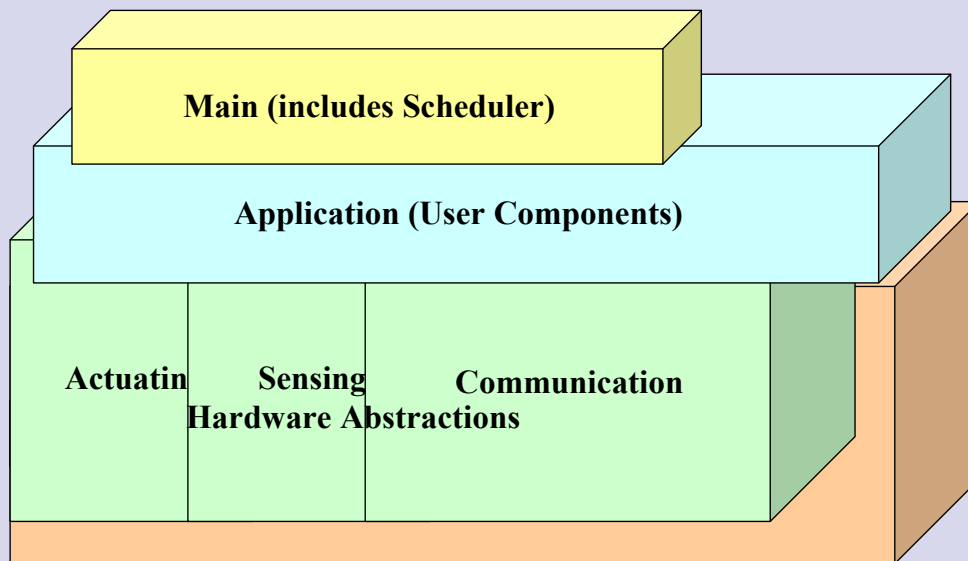
- Spolehlivý přenos dat mezi koncovými uzly
  - Problém řízení toku dat
  - Problém opakování přenosu
    - Mezi koncovými uzly
    - Mezi sousedními uzly
  - Problém zahlcení sítě
- Bezpečnost přenosu dat mezi koncovými uzly
  - Ověřování identity, šifrování, ochrana integrity dat
  - Problém s agregací dat
  - Problém sdílení klíčů



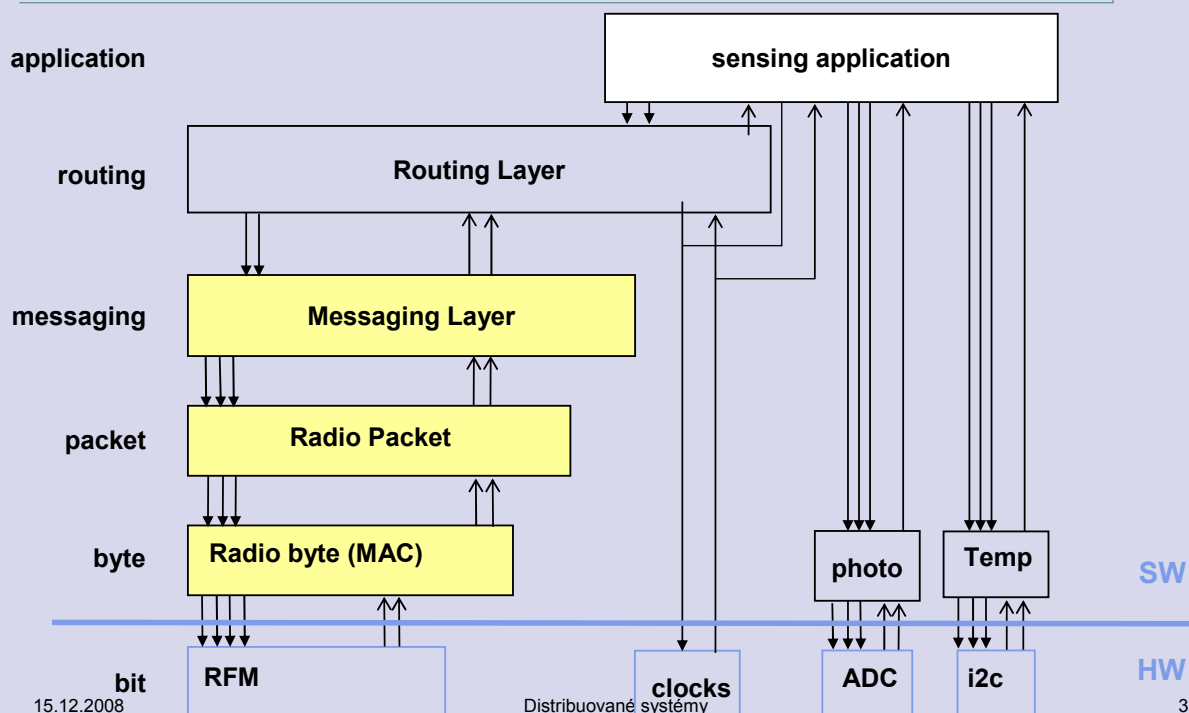
## Aplikační úroveň

- Databázové aplikace
  - Síť senzorů se chápe jako databáze
  - Jazyky pro manipulaci s daty
- Pohled na síť jako na virtuální stroj
  - Použití middleware
  - Zajištění transparentnosti
- Operační systém
  - TinyOS
  - Multiplatformní systém
  - Záruka stability?
  - Mantis OS
  - Další?

# TinyOS



# TinyOS – příklad aplikace



# TinyOS měření spotřeby



Component	Rate	Startup time	Current consumption
CPU Active	4 MHz	N/A	4.6 mA
CPU Idle	4 MHz	1 us	2.4 mA
CPU Suspend	32 kHz	4 ms	10 uA
Radio Transmit	40 kHz	30 ms	12 mA
Radio Receive	40 kHz	30 ms	3.6 mA
Photo	2000 Hz	10 ms	1.235 mA
I2C Temp	2 Hz	500 ms	0.150 mA
Pressure	10 Hz	500 ms	0.010 mA
Press Temp	10 Hz	500 ms	0.010 mA
Humidity	500 Hz	500 ms	0.775 mA
Thermopile	2000 Hz	200 ms	0.170 mA
Thermistor	2000 Hz	10 ms	0.126 mA

15.12.2008

Distribované systémy

39

# Další problémy



- **Problém lokalizace**
  - Data nemají význam bez znalosti polohy kde byla získána
  - GPS není vhodný
  - Senzory i v místech, kde není signál
  - Většinou stačí relativní pozice
    - Lokalizace relativně k vytipovaným bodům (vysílače polohy)
    - Lokalizace relativně k počátku (vstup do sítě)
- **Problém časové synchronizace**
  - Lokalizace pohybu tělesa podle hluku, který vydává
  - Výpočet polohy na základě intenzity hluku
  - Přesnost závisí na časové synchronizaci
  - NTP není vhodné, GPS (10ns) také ne (cena, příkon, velikost)

15.12.2008

Distribované systémy

40



## Další problémy

- Problém kalibrace čidel
- Problém agregace a míchání dat
  - Redukce množství přenášených dat
  - Může také odhadovat důležitost dat
  - Koordinace vzorkování dat
  - Vazba směrování
- Problematika bezpečnosti
  - Šifrování, ověřování, integrita dat
- Problém ochrany proti DOS útokům
- Problém zajištění důvěrnosti sítě



## Základní požadavky pro návrh senzorických sítí

- Efektivní napájení
  - Sensory mohou pracovat několik let bez výměny napájecího zdroje
  - Požadavek na úsporné výpočetní moduly s řízením spotřeby
  - Požadavek na velmi energeticky úsporné komunikační protokoly
  - Požadavek na výkonné baterie
- Schopnost rychle reagovat na vnější podněty
  - Periodický přechod mezi uspaním a aktivací může omezit rychlost reakce senzorů
    - Mohou být ztraceny důležité události
  - V RT aplikacích musí být rychlost reakce na událost v daných mezích i v případě zahlcení sítě

# Základní požadavky pro návrh senzorických sítí



- Robustnost

- Protože je kladen požadavek na nízkou cenu senzorů, mohou být za určitých podmínek i nespolehlivé
  - Předpokládá se i zničení senzoru
- Celková výkonnost systému však nesmí záviset na chybách jednotlivých senzorů
- Významné snížení výkonu může nastat při hromadném výpadku senzorů

# Základní požadavky pro návrh senzorických sítí



- Škálovatelnost

- Do senzorické sítě může být vloženo více než 10000 senzorů (velké oblasti, velké rozlišení)
- Distribuovaná komunikace (bez centrálního uzlu)
- Využití hierarchické struktury (clustery, vedoucí clusterů)
- Řešení základních problémů
  - Zpracování chyb
  - Programování v terénu
  - Propustnost sítě, omezení přenosové kapacity

# Základní požadavky pro návrh senzorických sítí



- Heterogenita
  - Heterogenní mohou být výpočetní prostředky i čidla
  - Rozdělení do skupin – dvouúrovňová architektura
    - Uzly s větší a menší výpočetní kapacitou
    - Jednodušší i vybavenější uzly s čidly
  - Problém určení vhodné architektury systému (výpočetní uzly a jednoduché uzly s čidly)
- Autokonfigurace
  - Neudržovatelný systém (nedostupné uzly)
  - Uzly si musí nakonfigurovat síťovou topologii sami
    - Lokalizace, synchronizace, kalibrace
    - Musí mezi sebou komunikovat a koordinovat své činnosti

# Základní požadavky pro návrh senzorických sítí



- Autooptimalizace a adaptace na změny prostředí
  - Nelze optimalizovat předem
  - Prostředí se chová nepredikovatelně a může se také rychle a významně měnit
  - Mikrosenzory musí být vybaveny protokoly pro adaptaci sebe sama za chodu
- Bezpečnost a důvěrnost
  - Musí zachovat bezpečnost zejména v případě kritických aplikací (vojenské aplikace)
  - Musí zamezit ničení (omezení monitorování)
  - Důvěrnost např. v lékařství – naměřená data