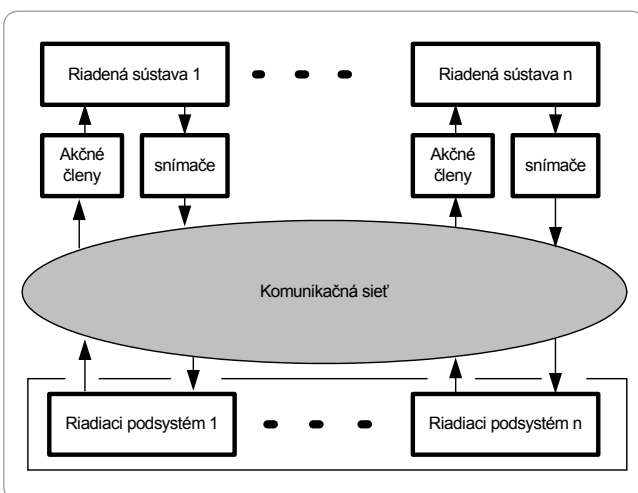


© University of Minnesota

# Bezdrôtové senzorkové siete – súčasnosť, perspektívy, aplikácie (3)

V predchádzajúcej časti sme sa venovali ďalším možnostiam aplikácií bezdrôtových senzorkových sietí. V treťom pokračovaní sa budeme venovať aplikáciám bezdrôtových senzorkových sietí v priemysle a tiež základným problémom tejto technológie.

V priemyselných aplikáciách sa najčastejšie stretávame s úlohami monitorovania výroby, pri riadení skladového hospodárstva, prípadne dnes už častejšie s riadením technologických procesov. Pripomeňme, že v prípade aplikácií v riadení technologických procesov sa často stretávame s pojmami bezdrôtová sieť senzorov a akčných členov, Wireless Sensor and Actuator Networks (WSAN [21]), prípadne tiež priemyselná bezdrôtová sieť senzorov, Industrial Wireless Sensor Networks (IWSN [22]).



Obr. 3 Štruktúra WSAN

Treba si uvedomiť, že bezdrôtové technológie začínajú hrať kľúčovú úlohu aj v priemyselnej automatizácii. Ak porovnáme bezdrôtové technológie s tradičnými, potom bezdrôtové technológie ponúkajú v priemyselnom prostredí celý rad výhod (zvýšenie flexibility pri umiestňovaní senzorov, odstránenie vodičov z potenciálne nebezpečných miest prevádzky, zvýšenie mobility obsluhy, jednoduchšia údržba a mnohé ďalšie).

V súčasnosti sa návrh priemyselných riadiacich systémov stáva čoraz zložitejší. Návrhári automatizačných systémov musia mať dobré vedomosti z oblastí automatického riadenia, technických prostriedkov, informatiky a komunikačných technológií. Musia pochopiť súvislosti medzi uvedenými jednotlivými disciplínami a navrhnuť vhodné riešenia pri riadení zložitých systémov. Je zrejmé, že v procese návrhu je možné a účelné, aby jednotlivé konkrétne úlohy riešili príslušní špecialisti, no základnú architektúru systému musí navrhnuť pracovník so znalosťou základných poznatkov zo všetkých uvedených odborov. Podľa [23] možno problémy v oblasti návrhu sieťových riadiacich systémov rozdeliť do troch základných tried:

- **Riadenie sietí:** Medzi základné problémové oblasti riadenia sietí patrí riadenie prístupu na prenosové médium, plánovanie prenosov, smerovanie, riadenie vysielačieho výkonu a riadenie toku. Aby sa zabezpečilo optimálne riadenie komunikačnej siete, treba priebežne merať a modifikovať parametre siete. Viacerí autori poukazujú na skutočnosť, že súčasná vrstvomá architektúra nie je ideálna pre návrh komunikačného stacku, v ktorom má byť aplikačná vrstva schopná dynamicky modifikovať parametre nižších vrstiev. Bezdrôtové komunikačné siete predstavujú špeciálny prípad. Pripomeňme, že pokiaľ sú prenosové kapacity komunikačných liniek pri tradičnej sieti konštantné, prenosové kapacity bezdrôtových liniek sú premenlivé a závisia od umiestnenia komunikačných zdrojov, vysielačieho výkonu, šírky pásma/počtu alokovaných kanálov, pridelených časových rámcov a pod. Modifikovanie parametrov prenosových liniek mení kapacitu jednotlivých liniek, čo ovplyvňuje smerovanie v sieti a tým aj celkovú priepustnosť. Na základe aktuálnych dátových tokov je vhodné dynamicky meniť parametre komunikačných stackov. Tento navrhovaný proces sa často nazýva „cross-layer design“ [25].
- **Riadenie prostredníctvom siete:** Táto oblasť je zameraná najmä na riešenie problémov spojených s návrhom metód spätnoväzbového riadenia vhodného na riadenie systémov, ak sa na výmenu informácií medzi snímačmi, ústrednými členmi a akčnými členmi používa komunikačná sieť so všetkými reálnymi nedostatkami.

V reálnych prípadoch musia návrhári riadiacich systémov riešiť nasledujúce problémy:

- Prenos dát prostredníctvom komunikačnej siete v riadiacich slučkách nevyhnutne spôsobuje časové oneskorenie. Uvedenému problému sa v súčasnosti venuje veľká pozornosť. Výskumní pracovníci z oblasti sieťových riadiacich systémov sa venujú návrhu algoritmov riadenia, ktoré minimalizujú vplyv premenlivého dopravného oneskorenia (jitter, chvenie vzoriek) na riadiaci pochod. Pripomeniem, že v klasickej teórii signálov spôsobuje chvenie vzoriek vznik fázového šumu so všetkými negatívnymi dosahmi na zníženie informačného obsahu každej vzorky. Dnes sa stretáme najmä s dvoma principiálnymi prístupmi pri riešení daného problému. Jeden prístup predstavuje využitie vyrovnávacích pamätí a pomocou nich sa zabezpečí konštantné dopravné oneskorenie (na hornej hranici). Druhý prístup sa venuje návrhu odolných algoritmov s prijateľnou kvalitou riadenia, ktoré sú schopné efektívnej činnosti aj pri výskyte náhodného dopravného oneskorenia.
- Preťaženie siete, kolízie dát, prípadne interferencia môžu spôsobiť stratu prenášaných paketov. Uvedený problém bol analyzovaný vo viacerých prácach. Ich prehľad je v [23].
- V reálnych komunikačných sieťach sa návrhár stretne s obmedzenou prenosovou kapacitou. Túto skutočnosť treba v priebehu návrhu riadiaceho systému rešpektovať. V tomto kontexte treba pri návrhu riadiaceho systému vyvinúť analytický model, ktorý dokáže opísať kvalitu riadenia v závislosti od charakteristík kvality služieb siete, QoS.
- Ďalším z problémov je zaistenie požadovanej bezpečnosti prevádzky riadiaceho systému. Uvedený problém je vážny najmä pri využívaní bezdrôtových komunikačných sietí.

V súvislosti s reálnymi vlastnosťami komunikačných sietí sa dnes stále venuje relatívne malá pozornosť návrhu riadiacich systémov s využitím princípov návrhu udalostných systémov – event based design. Pri špecificky definovaných udalostiach môžu uvedené prístupy viesť k problémom nerovnomerného vzorkovania signálov a s tým súvisiacim problémom opisu správania systémov s nerovnomerným vzorkovaním. Tento prístup by v prípade rozsiahlych riadiacich systémov redukoval celkový objem dátových tokov v sieti, čím by klesli nároky na parametre siete. Na druhej strane treba pripomenúť, že práve v prípade havarijných stavov, ktoré sa vyznačujú vysokým výskytom sledovaných udalostí, by dochádzalo k preťaženiu siete, čo by v prípade riadenia bezpečnostne kritických procesov mohlo viesť až ku katastrofe. Z toho dôvodu by komunikačná sieť musela byť navrhnutá tak, aby v prípade výskytu kritickej udalosti nedošlo k jej preťaženiu.

- Multi-agentové systémy. Teória multiagentových systémov sa využíva najmä pri analýze a riešení problémov súvisiacich s novými možnosťami riadiacich sieťových architektur, ktoré umožňujú interakciu medzi všetkými komponentmi siete. Ako možno využiť informácie o lokálnych riadiacich slučkách na zlepšenie celkového správania celého systému? Ako vplyvajú individuálne agenty na dosiahnutie definovaného cieľa v kooperujúcom systéme? Tieto a podobné otázky sú dnes predmetom intenzívneho skúmania. Ďalšia skupina problémov súvisí s multirobotickými systémami a s ich efektívnym využitím. Úlohám spojeným so správaním skupiny autonómnych robotov sa v súčasnosti snáď až nezaslúžene dostáva mimoriadnej pozornosti výskumných tímov celého sveta.

Naznačené okruhy problémov výrazne ovplyvňujú počet úspešných aplikácií WSN v oblasti riadenia a monitorovania technologických procesov. Napriek počiatkovej nedôvere k RF prenosovým systémom dnes možno konštatovať, že aj v oblasti priemyselnej automatizácie sa čoraz častejšie stretávame s efektívnymi a spoľahlivými riešeniami [24], ktoré využívajú technológiu WSN.

Poznamenajme, že opísané aplikácie tvoria len malú časť celého aplikačného priestoru WSN. Nespomenuli sme viaceré aplikácie, s ktorými sa dnes v praxi často stretáme – automatizácia budov, monitorovanie produktovodov, zabezpečovacie systémy a mnohé ďalšie.

## Základné problémy

Je zrejmé, že bezdrôtová sieť senzorov je tvorená veľkým množstvom uzlov „nodov“, ktoré sú rozmiestnené v monitorovanej oblasti. Senzorické uzly bývajú rozmiestnené náhodne alebo do vopred definovaných pozícií. Každý z prvkov siete musí spĺňať často protichodné požiadavky: veľký výpočtový výkon pri minimálnej cene a spotrebe energie, dlhá životnosť pri obmedzených zdrojoch energie, schopnosť presnej autolokalizácie pri minimálnej cene riešenia a mnoho ďalších. V praxi je potrebné dosiahnuť požadované používateľské vlastnosti pri minimálnych nákladoch na realizáciu a prevádzku siete. V závislosti od konkrétnej aplikácie sa stretáme s rôznymi požiadavkami kladenými na sieť senzorov. No vo všeobecnosti treba najčastejšie riešiť nasledujúce problémy:

- komunikácia: štandardizácia komunikačných protokolov,
- časová synchronizácia,
- lokalizácia,
- životnosť: energetická náročnosť,
- spoľahlivosť,
- bezpečnosť.

Problém spoľahlivej komunikácie medzi prvkami siete je jednou z prvých úloh, ktorú treba riešiť. V súčasnosti existuje pomerne veľa sofistikovaných protokolov, ktoré pri nízkej energetickej náročnosti prijímačov/vysielačov dokážu zabezpečiť spoľahlivý prenos informácií s dostatočnou priepustnosťou. Poznamenajme, že v procese návrhu WSN treba rešpektovať obmedzenia vyplývajúce z európskych normalizačných a tých štátnych telekomunikačných autorít, kde sa bude WSN používať.

V tab.1 sú uvedené základné frekvenčné pásma, ktoré možno pri rešpektovaní definovaných obmedzení (vysielač výkon, LBT) voľne používať.

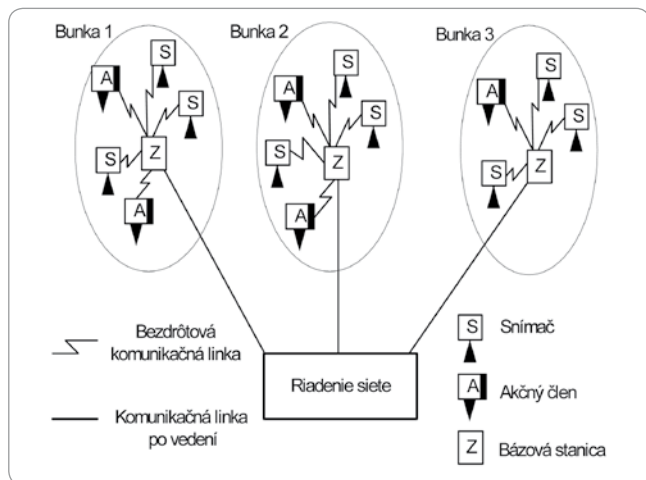
Frekvenčné pásmo [MHz]	Maximum EIRP [mW]	Aplikácia
13,5530 – 13,5670	100/500	SRD/ISM
40,66 – 40,70	100/500	SRD/ISM
433,05 – 434,79	50/100	RCD, SD/SRD
863 – 870	25	SRD, ISM
2 400 – 2 500	500	SRD, ISM
5 725 – 5 925	500	ISM
24 000 – 24 250	500	ISM, SRD
59 300 – 62 000	500/1 000	ISM, SRD
122 020 – 123 000	500/1 000	ISM, SRD
244 000 – 246 000	500/1 000	ISM, SRD

**Tab. 1 SRD/ISM vyhradené frekvenčné pásma**  
*pozn. SRD – Short Range Devices, ISM – Industry Scientific Medical, RCD – Radio Control Devices*

V oblasti bezdrôtového prenosu dát sa už v roku 1997 objavil štandard 802.11, ktorý špecifikuje prenos informácií v ISM pásme 2,4 – 2,5 GHz s rýchlosťou prenosu 1 alebo 2 Mb/s. V roku 1999 boli schválené doplnujúce štandardy 802.11a a 802.11b. Std. 802.11a je štandard určený pre pásmo 5 GHz s rýchlosťou prenosu až 54 Mb/s. 802.11b je štandard určený pre pásmo 2,4 GHz s rýchlosťou prenosu do 11 Mb/s. V roku 2003 vyšla norma 802.11g, ktorá definuje prenos dát v pásme 2,4 GHz s maximálnou rýchlosťou prenosu 54 Mb/s.

Aplikácie WSN nemajú vyhradené špeciálne frekvenčné pásmo na zabezpečenie RF komunikácie. Komunikačné prostriedky musia preto využívať niektoré z bezlicenčných ISM pásiem, prípadne služby poskytované inou organizáciou. V poslednom čase sa snáď najviac využíva ISM pásmo vo frekvenčnom rozsahu 2,400 až 2,500 GHz. V súčasnosti sa najčastejšie stretávame s komunikačným štandardom 802.11, ktorý využívajú lokálne bezdrôtové siete WLAN a so štandardom 802.15 pre personálne bezdrôtové komunikačné siete WPAN. Komunikačné systémy využívajúce std. 802.11 pracujú s prenosovými rýchlosťami rádovo v jednotkách až desiatkach Mb/s na vzdialenosť desiatky až stovky metrov. Komunikačné systémy využívajúce std. 802.15 podporujú prenosovú rýchlosť od desiatok kb/s do jednotiek Mb/s štandardne na vzdialenosť od jednotiek metrov do sto metrov. Komunikačné zariadenia pracujúce na základe std. 802.15 sa vyznačujú nižšou prenosovou rýchlosťou a kratším dosahom než zariadenia na báze 802.11, majú preto menšiu spotrebu energie. Práve táto vlastnosť

ich predurčuje na použitie v bezdrôtových sieťach senzorov. V tejto triede sa najčastejšie stretávame so std. 802.15.1 Bluetooth a std. 802.15.4, ktorý definuje fyzickú a MAC vrstvu známeho štandardu Zig-Bee. Štandard 802.15.1 predstavuje istý kompromis medzi std. 802.11 a std. 802.15.4. Vyznačuje sa relatívne vysokou prenosovou rýchlosťou s nízkymi časovými oneskoreniami pri nižšej energetickej náročnosti než 802.11.



Obr. 4 Komunikačná sieť WISA

Na základe normy 802.15.1 vznikol komunikačný systém WISA (Wireless Interface for Sensors and Actuators) určený pre aplikácie priemyselnej automatizácie [11]. Chybovosť prenosu paketov je menšia ako  $E-9$ , pričom základný komunikačný cyklus trvá približne 2 ms. Architektúra siete WISA je uvedená na obr. 4. Komunikačná rýchlosť je až 1 Mb/s.

#### Literatúra (výber)

[11] Christin, D. – Mogre, P. S. – Hollick, M.: Survey on Wireless Sensor Network Technologies for Industrial Automation: The Security and Quality of Service Perspectives. Future Internet 2010, ISSN 1999-5903.

[21] Chen, J. – Cao, X. – Cheng, P. – Xiao, Y. – Sun, Y.: Distributed Collaborative Control for Industrial Automation with Wireless Sensor and Actuator Networks. IEEE Transactions on Industrial Electronic, vol. 57, No. 12, 2010.

[22] Gungor, V. C. – Hanckle, G. P.: Industrial Wireless Sensor Networks: Challenges, Design Principles and Technical Approaches. IEEE Transactions on Industrial Electronic, vol. 56, No. 10, 2009.

[23] Zampieri, S.: Trends in Networked Control Systems. Proceeding of the 17th World Congress IFAC, Korea 2008.

[24] Park, P.: Protocol Design for Control Applications Using WSN. Licentiate Thesis, Sweden 2009.

[25] Zhuang, L. Q. – Goh, K. M. – Zhang, J. B.: The Wireless Sensor Networks for Factory Automation: Issues and Challenges. IEEE 2007.

#### Podakovanie

Tento príspevok vznikol aj vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti pre systémy a služby inteligentnej dopravy, ITMS 26220120028, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

V nasledujúcej časti seriálu sa budeme venovať ďalším komunikačným systémom používaným v aplikáciách bezdrôtových senzorických sietí a tiež problémom, ako je synchronizácia, lokalizácia senzorov, životnosť, spoľahlivosť atď.

doc. Ing. Juraj Miček, CSc.

vedúci Katedry technickej kybernetiky

Žilinská Univerzita v Žiline

Fakulta riadenia a informatiky

juraj.micek@fri.uniza.sk