

Bezdrôtové senzorké siete

– súčasnosť, perspektívy, aplikácie (5)

V predchádzajúcej časti sme sa venovali ďalším komunikačným systémom používaným v aplikáciách bezdrôtových senzorkých sietí. V záverečnej časti seriálu opíšeme problémy, ako synchronizácia, lokalizácia senzorov, životnosť, spoľahlivosť atď.

Problém efektívnej synchronizácie sa vyskytuje vo väčšine distribuovaných systémov spracovania dát. V mnohých aplikáciách od presnosti časovej synchronizácie technických prostriedkov priamo závisí presnosť dosiahnutých výsledkov. Ako príklad uveďme sledovanie pohybujúcich sa objektov na základe emitovaného hluku, všetky úlohy lokalizácie na báze vyhodnotenia TOA (Time of Arrival) a pod. Ďalším vážnym dôsledkom nepresnej synchronizácie je nárast spotreby pri RF komunikácii vo WSN. V prípade časového multiplexu musí byť prijímač senzorkého uzla aktivovaný s predstihom maximálnej synchronizačnej chyby pred začatím komunikácie.

Synchronizáciu jednotlivých uzlov siete možno jednoducho vyriešiť pomocou globálneho pozičného systému (GPS). Každý prvok siete by v tomto prípade obsahoval prijímač GPS, ktorý by synchronizoval jeho interné hodiny. Toto riešenie má viacero nevýhod, ktoré často znemožňujú jeho použitie. Uzly siete musia byť rozmiestnené len v priestoroch s GPS signálom. Riešenie je príliš náročné na spotrebu energie. Cena GPS prijímača je príliš vysoká, väčšinou prekračuje cenu uzla siete.

Synchronizácia siete môže byť zabezpečená presným interným zdrojom synchronizačného signálu. Interný zdroj by musel mať presnosť na úrovni atómových hodín, čo je finančne a energeticky príliš náročné. Jednou z možností je využiť synchronizačné metódy navrhnuté na synchronizáciu bezdrôtových sietí „multi-hop“. Otázky synchronizácie WSN sú analyzované a opísané v [26].

Presnosť lokalizácie senzorov je primárnym problémom vo viacerých aplikáciách WSN (sledovanie objektov, v aplikáciách zdravotnej starostlivosti a iných.). Problém autolokalizácie každého uzla siete sa vyskytne v tzv. neštruktúrovaných sieťach, v ktorých sú senzory rozmiestnené náhodne, prípadne ak sú senzory súčasťou mobilných objektov. V týchto prípadoch treba zabezpečiť, aby bol každý senzor schopný získať aktuálnu informáciu o svojej polohe. Aj pri riešení tohto problému by bola najjednoduchšia cesta založená na využití globálneho pozičného systému. Pripomeňme však, že všetky už uvedené obmedzenia limitujú použitie tohto postupu. Snáď najväčšia skupina lokalizačných metód je založená na vyhodnocovaní intenzity prijímaného signálu Received Signal Strength (RSS). Všetky RF technológie (802.11, 802.15.1 a 802.15.4) poskytujú pri prijíme informáciu o hodnote RSS, preto môžu byť lokalizačné techniky na báze RSS efektívne využité pri stanovení polohy senzorov siete. Podľa [27] sa stredná hodnota chýb lokalizácie pri využití RSS pohybuje v rozmedzí 1 až 5 m.

Životnosť chápaná ako čas prevádzky senzorov bez zásahu obsluhy je pri využívaní napájacích článkov daná ich kapacitou a spotrebou energie. Je zrejmé, že v tomto prípade možno životnosť zvýšiť zvýšením kapacity energetických zdrojov alebo znížením spotreby zariadenia. Ďalšia možnosť je napájať senzor zo systému schopného

získať energiu z okolia (Energy Harvesting). Dnes sa stretávame s mikrokontrolermi, ktorých spotreba v aktívnom režime je pod hodnotou $100 \mu\text{A}/\text{MHz}@3\text{V}$. Z jednej batérie s kapacitou 1 000 mAh môže byť takáto procesorová jednotka v prevádzke až 1 rok. V reálnych aplikáciách sa mikrokontrolér často nachádza v úspornom režime so spotrebou cca stokrát nižšou. Potom sa limitujúcim faktorom stáva spotreba komunikačného modulu, prípadne proces samovybívania batérie. Poznamenajme, že aj v oblasti zdrojov energie, či už primárnych článkov alebo nabíjateľných, sa v poslednom období stretávame s výrazným zlepšením parametrov, najmä so zvýšením energetickej hustoty a znížením samovybívacieho prúdu. Pri energetických článkoch na báze (Lithium-thionyl chlorid) Li-SOCI₂ sa dosahuje energetická hustota 1 220 Wh/l a samovybívanie je nižšie ako 1 % kapacity ročne. Tieto články sú určené do zariadení so životnosťou až 20 rokov. Dnes sa stretáme aj s dobíjateľnými zdrojmi určenými na plošnú montáž vo veľkosti 2,8 x 3,5mm (EnerChip). Predpokladáme, že pokrok technológie v oblasti energetických zdrojov bude aj naďalej pokračovať.

Druhou možnosťou, ktorá sa čím ďalej, tým viac dostáva do popredia záujmu technikov, sú systémy na získavanie energie z okolia v spolupráci s nabíjateľnými batériami alebo superkapacitormi. Na ilustráciu energetických možností okolia je uvedená tab. 3.

Zdroj energie	Merný výkon
Vibrácie/pohyb	
Človek	4 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Priemyselné aplikácie	100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Rozdiel teplôt	
Človek	25 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Priemyselné aplikácie	1-10 mW/cm^2
Svetelné žiarenie	
V budovách	10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Vonku	10 mW/cm^2
RF	
GSM	0.1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Wi-Fi	0.001 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

Tab. 3 Možné zdroje energie

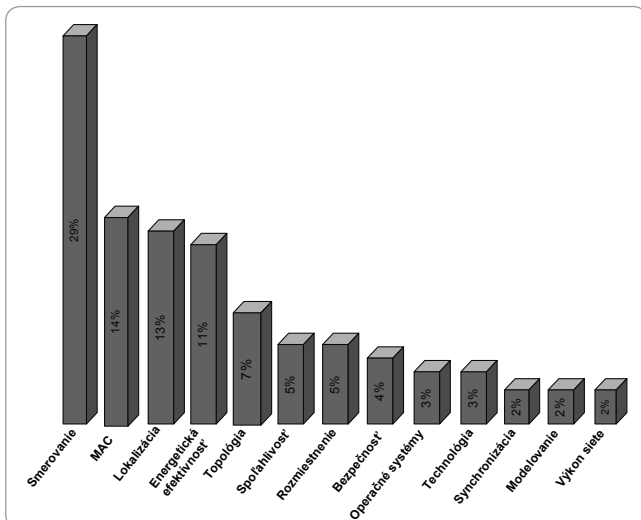
Ďalšie zaujímavé riešenie napájania WSN využíva stacionárny vysielateľ v ISM pásme s vyžiareným výkonom 1 W alebo 3W, EIRP. Tento vysielateľ je schopný napájať energiou senzorké prvky v okruhu 30 m. Výkonový vysielateľ okrem vyžiareného výkonu vysiela v náhodných intervaloch (max. 10 ms) svoje identifikačné číslo a časový údaj, čo možno využiť na synchronizáciu siete. Uvedený systém

je navrhnutý pre širokú škálu aplikácií bezdrôtových senzorkých sietí. Poznamenajme, že použitie tohto zariadenia by v štátoch EÚ, zrejme, narazilo na problémy s certifikáciou, má príliš veľký vyžiadaný výkon.

Spôľahlivosť bezdrôtovej siete senzorov predstavuje problém, ktorý bol analyzovaný vo viacerých vedeckých a odborných prácach [28], [29]. Spôľahlivosť patrí stále medzi najčastejšie dôvody, prečo nemožno využiť WSN v priemyselných aplikáciách. Pod pojmom spoľahlivosť WSN budeme v zmysle všeobecnej definície spoľahlivosti rozumieť schopnosť zachovávať si funkčné vlastnosti v danom čase pri definovaných podmienkach činnosti. Zaslúžene sa dnes najväčšia pozornosť venuje spoľahlivosti podsystemu prenosu dát [30]. V [28] bola zavedená definícia spoľahlivosti WSN zhluku ako pravdepodobnosť, že sieť bude schopná zabezpečiť prenos definovaného minimálneho celkového množstva informácií do požadovaného koncového uzla. Spôľahlivosť podsystemov snímania a spracovania informácií sa hodnotí podobnými metódami, ako pri iných technických systémoch. V bezdrôtových sieťach snímačov sa stretávame s vysokou mierou redundancie systému. Táto skutočnosť umožňuje i pri nižšej spoľahlivosti jednotlivých komponentov siete dosiahnuť požadovanú úroveň spoľahlivosti celej siete.

Bezpečnosť siete je široký pojem, ktorý zahŕňa problematiku autentifikácie, integrity, dôveryhodnosti a pod. Bezpečnosť WSN je ďalšia, dnes často diskutovaná otázka [31], [32]. Väčšina autorov sa zhoduje v názore, že WSN je vďaka obmedzeným zdrojom (nízky výpočtový výkon, obmedzená kapacita pamäte, nespoľahlivé komunikačné linky, a pod.) mimoriadne zraniteľná. Je zrejme, že čím väčší objem informácií sa prenáša sieťou, tým je bezpečnostné riziko prenosu vyššie. Z tohto pohľadu by bolo najvhodnejšie spracúvať snímané informácie priamo na mieste ich vzniku a sieťou WSN sprostredkovať prenos len výsledných, značne komprimovaných dát. Takto sa však potlačí jedna z výhod WSN, ktorá vyplýva z možnosti použiť metódy kooperatívneho spracovania signálov. Ďalším zaujímavým problémom je aj autentifikácia, najmä pri ad-hoc sieťach, kde sú všetky prvky siete rovnocenné a sieť neobsahuje tzv. certifikačnú autoritu. V prípade ad-hoc sietí s dynamickou topológiou sa odporúča, aby jeden uzol predstavoval akúsi bázu stanicu s funkciou koordinátora siete. Problémom bezpečnosti v bezdrôtových sieťach sa v súčasnosti venuje mnoho výskumných a vývojových pracovísk na celom svete. Reálne možno predpokladať, že aj v ďalšom období sa bude problematike bezpečnosti venovať zvýšená pozornosť.

Uvedené okruhy problémov z oblasti bezdrôtových sietí senzorov neopisujú vyčerpávajúcym spôsobom ich analýzu a metódy riešenia. Mali len poukázať na šírku problémov, ktoré sprevádzajú vývoj nových aplikácií WSN. Treba tiež pripomenúť, že boli spomenuté len tie oblasti, ktoré autor subjektívne pokladal za najvýznamnejšie. Na doplnenie a ilustráciu rôznorodosti problémových oblastí uvádzame obr. 5, ktorý znázorňuje počet príspevkov z jednotlivých oblastí WSN v rokoch 2001 – 2006 v časopisoch IEEE a ACM [29].



Obr. 5 Podiel jednotlivých problémových oblastí na počte príspevkov so zameraním na WSN

Pripomeňme, že počet publikovaných príspevkov väčšinou nezavisi od aktuálnosti témy ani od počtu požiadaviek aplikačnej praxe. Počet publikácií skôr závisí od spôsobu a prostriedkov riešenia úlohy. Väčšina súčasných publikovaných prác vychádza z výsledkov simulácií a analytických riešení, z riešení, ktoré možno dosiahnuť v krátkom čase v pohodlí kancelárie. Z toho dôvodu je obr. 5 uvedený len na demonštráciu základných problémov, ktoré so sebou prináša vývoj aplikácií WSN.

V celom príspevku nebolo spomenutých mnoho tém, ktoré sú z teoretického i praktického hľadiska zaujímavé a aktuálne, preto niektoré aspoň vymenujem. Sú to nasledujúce témy:

- distribuované spracovanie signálov,
- kooperatívne spracovanie signálov,
- adaptivita siete,
- parametrizácia siete a mnohé ďalšie.

Každá zo spomenutých tém v sebe skrýva mnoho problémov, ktorých riešenia sú zaujímavé z teoretického i praktického hľadiska. Oblasť WSN preto poskytuje dostatok priestoru na zaujímavú výskumnú, vývojovú, realizačnú i experimentálnu prácu.

Záver

Technológia WSN je v súčasnosti na začiatku cesty. Kam až nás táto cesta v budúcnosti zavedie, je dnes ťažké predvídať. Vo všeobecnosti možno v oblasti vývoja aplikácií WSN nájsť dva základné smery. Jeden smer vedie k sieťovaniu výrobných strojov, technológií a komerčných zariadení pre lepšiu diagnostiku a monitorovanie, efektívnejšie využitie energií a výrobných kapacít, jednoduchšie a účinnejšie ovládanie a riadenie, ako aj zvýšenie používateľského komfortu. Druhý smer vedie k sieťovaniu ľudí pre zvýšenie kvality zdravotnej starostlivosti, osobnej bezpečnosti, zvýšenie komfortu života, ako aj uľahčenie života handikepovaným osobám. Je zrejme, že nasadenie WSN najmä v druhej oblasti zákonite prinesie i zmeny v sociálnych vzťahoch spoločnosti a umožní využívanie WSN na samej hranici súčasných etických noriem. Ľudia už dnes pociťujú stratu osobnej slobody a oprávnené požadujú zvýšenie kontroly nad využívaním moderných informačných technológií. Ako každá nová technológia, aj technológia WSN sa dá využiť v prospech ľudí, súčasne sa však otvára priestor aj na jej zneužitie. Je však na nás, ako sa s týmito novými výzvami vyrovnáme. Napriek uvedeným problémom možno konštatovať, že prienik technológie WSN do rôznych oblastí ľudskej činnosti bude v budúcnosti i naďalej pokračovať.

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.

Záver seriálu.

doc. Ing. Juraj Miček, CSc.

vedúci Katedry technickej kybernetiky
Žilinská Univerzita v Žiline
Fakulta riadenia a informatiky
juraj.micek@fri.uniza.sk