

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

SMEROVANIE V RÁMCI SENZOROVÝCH SIETÍ
ZADANIE Č. 11

2020

Bc. Martin Chlebovec
Bc. Kristián Garbera

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

SMEROVANIE V RÁMCI SENZOROVÝCH SIETÍ
ZADANIE Č. 11

Študijný program: Počítačové siete (PS_Ing_D_sk)
Študijný odbor: Informatika (2508T00)
Školiace pracovisko: Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií (KEMT)
Cvičiaci: Ing. Maroš Lapčák
Skúšajúci: doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.

2020 Košice

Bc. Martin Chlebovec
Bc. Kristián Garbera

Obsah

Zoznam obrázkov	4
Zoznam tabuliek	4
Zoznam symbolov a skratiek	5
Úvod	7
1. Senzorový uzol	8
2. Architektúra senzorových sietí	10
3. Topológia senzorových sietí	11
4. Štandardy komunikácie	14
4.1. ZigBee	15
5. Smerovanie v senzorových sieťach	16
5.1 Priame smerovanie	16
5.2 Hierarchické smerovanie	18
5.3 Smerovanie podľa polohy	20
5.4 Smerovanie podľa typu protokolu	20
5.5 Smerovanie podľa udržiavania prenosovej trasy	22
6. Senzorové siete a ich bežné aplikácie	24
6.1 Monitorovanie oblasti	24
6.2 Zdravotníctvo	24
6.3 Geomonitoring	25
6.4 Priemysel a automatizácia	26
7. Ukladanie dát	27
7.1 Vizualizácia dát	28
Záver	31
Zoznam použitej literatúry	32
Pracovný list	35

Zoznam obrázkov

Obr. 1 - Architektúra senzorového uzla	8
Obr. 2 - Hviezdicová topológia	11
Obr. 3 - Topológia strom	12
Obr. 4 - Čiastočný mesh smerovacích uzlov	13
Obr. 5 - Smerovanie vo virtuálnej mriežke medzi cluster a master uzlami	19
Obr. 6 - Príklad detekcie osôb a ich polohy v senzorovej sieti	25
Obr. 7 - Prehľad nameraných údajov v prostredí Grafana	28
Obr. 8 - Príklad nastavenia upozornenia v prostredí Grafana	29

Zoznam tabuliek

Tab. 1 - Najpoužívanejšie protokoly nad štandardom komunikácie IEEE 802.15.4	14
Tab. 2 - Príklad uložených záznamov v databáze InfluxDB	28

Zoznam symbolov a skratiek

ADC	Analógovo-digitálny prevodník
BSD	Berkeley Software Distribution - štandard otvoreného softvéru
BU	Bázový uzol
CSMA/CA	Metóda pre viacnásobný prístup k médiu používaná v bezdrôtových sieťach
CU	Cluster uzol
GPS	Globálny navigačný systém
GSM	Štandard druhej generácie pre mobilné technológie - 2G
HTTP	Hypertextový prenosový protokol
IEEE	Inštitút elektrických a elektronických inžinierov - profesijné zrušenie, štandard
IO	Vstupno-výstupný (vývod)
IoT	Internet vecí (Súbor zariadení pripojených do internetu)
JSON	Dátový formát dát. Využíva univerzálne označenie dát ako objektov s atribútmi
LDAP	Protokol ľahkého prístupu k adresáru
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network - Nízkoenergetický sieťový protokol
LTE	Štandard štvrtej generácie pre mobilné technológie - 4G
MAC	Media Access Control - kontrola prístupu k médiu
MC	Master cluster
MCFA	Algoritmus minimálnej ceny smerovania
NB-IoT	NarrowBand - Internet of Things - Sub-pásmo mobilných sietí vyhradené pre IoT
OAuth	Otvorený protokol prístupu do webových aplikácií tretích strán účtom (Google)
PAN	Personal Area Network. Osobná sieť. Komunikuje na relatívne malej oblasti
QoS	Kvalita služby pri riadení dátových tokov. Garantuje prioritu služby
RAM	Operačná pamäť, energeticky závislá. Slúži na ukladanie čiastkových dát.
ROM	Pamäť slúžiaca iba na čítanie. Nie je možné do nej zapisovať, iba prepisovať.

SAML	Otvorený štandard pre výmenu autentizačných a autorizačných údajov medzi poskytovateľom identity a služby
SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav
SM	Smerovací uzol
SU	Senzorový uzol
TCP	Protokol riadenia prenosu - využíva kontrolný súčet, spoľahlivý
TDMA	Časová metóda pre viacnásobný prístup k médiu formou vyhradených okien
UDP	Používateľský datagramový protokol - rýchly, nespoľahlivý
XML	Rozšírený značkovací jazyk. Využívaný pre univerzálnu reprezentáciu dát.

Úvod

Senzorové siete sú trendom súčasnosti s využitím v mnohých oblastiach. Sú komplexným systémom, ktorý pozostáva zo senzorových uzlov (nazývajú sa aj senzorové pole), ktoré umožňujú vykonávať meranie rôznych fyzikálnych veličín a ich následné spracovanie. Jednotlivé uzly v sieti dokážu medzi sebou komunikovať a tým tvoria sieť.

Dokážu tak vykonávať určité akcie a úlohy vzhľadom na zmenu fyzikálnych veličín a na základe požiadaviek, ktoré si medzi sebou uzly dokážu vymeniť. Dôležitým faktorom pri komunikácii je predovšetkým smerovanie, ktoré zaručuje schopnosť komunikovať všetkým uzlom sensorovej siete.

Zabezpečuje, že sa informácia z bodu A dostane práve do cieľového bodu B, čomu prispôbi aj trasu, ktorou sa správa doručí. Na základe požiadaviek konkrétnej aplikácie môže byť smerovanie navrhnuté prostredníctvom centralizovaného bodu, prípadne decentralizovane medzi susednými uzlami siete.

Smerovanie sa môže líšiť aj na základe technológii, prostredníctvom ktorých senzorové uzly komunikujú. Iné špecifiká majú káblové a bezdrôtové technológie aj vo vzťahu priepustnosti, rýchlosti a spoľahlivosti komunikácie.

Senzorové siete môžu byť tvorené stovkami až tisíckami uzlov v závislosti od aplikácie použitia. Štandardne má uzol pripojený jeden senzor, ale výnimkou nie je ani použitie viacerých senzorov. Populárnejšie sú senzorové bezdrôtové siete.

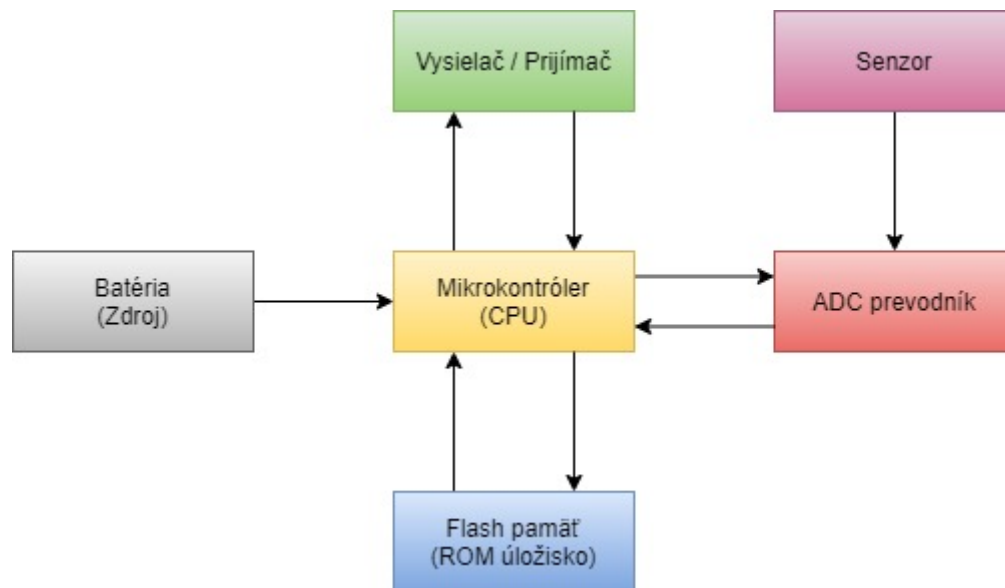
Uzly majú obmedzený výpočtový výkon a častokrát aj energetický zdroj, nakoľko sú prevádzkované na batériu. Na tú sa kladú požiadavky, aby bola schopná udržiavať uzol v chode aj niekoľko rokov. Z toho dôvodu musí byť aj prevádzka uzla prispôbená pre tento typ napájania.

V prípade, že bod nevysiela informáciu, využíva formu spánku, prípadne hybernácie, ktorá umožňuje redukovať spotrebu elektrickej energie na minimum, čo zvyšuje životnosť uzla v sensorovej sieti.

Dáta zo senzorových sietí môžu byť ukladané na vzdialené úložiská a následne vizualizované rôznymi na to určenými nástrojmi, napr. Grafana. Tie umožňujú okrem vizualizácie aj analytiku dát, čo môže mať prínos hlavne pre výskumnú sféru a pre prácu s dátami ako takými.

1. Senzorový uzol

Senzorový uzol [1] je tvorený riadiacou jednotkou - mikrokontrolérom, pamäťou - najčastejšie flash pamäť s nízkou spotrebou a dlhou životnosťou, komunikačným rozhraním (bezdrôtovým / káblovým) a zdrojom elektrickej energie a z pripojených senzorov - periférii a taktiež jednoduchým ADC (Analogovo-digitálnym) prevodníkom (štandardne 10 až 12-bit), ktorý umožňuje digitalizovať (spracovať) namerané údaje. Architektúra senzorového uzla je graficky reprezentovaná na Obr. 1.



Obr. 1 - Architektúra senzorového uzla

Zdroj: Autor - nástroj Draw.io

Uzol môže byť vybavený aj solárnym panelom, ktorý pomáha predĺžiť životnosť batérii a dĺžku možnosti fungovania senzorového uzla na batérie. Zoskupenie senzorov v určitej oblasti môžeme nazvať aj senzorovým poľom a tie spoločne vytvárajú senzorovú sieť.

Senzorové uzly poskytujúcu údaje o rôznych fyzikálnych veličinách, ktoré môžu byť zaujímavé pre výskum, vývoj, automatizáciu. Uzly môžu byť usporiadané náhodne, ale aj usporiadané do rôznych tvarov - polygóny, mriežky v podobe štvorcov, obdĺžnikov.

Senzorový uzol môže byť vybavený operačným systémom, ktorý je oproti bežným operačným systémom veľmi jednoduchý a väčšinou poskytuje iba jeden typ funkcionality pre konkrétnu aplikáciu nasadenia. Uľahčuje implementáciu jednotlivých senzorových uzlov, konfiguráciu.

Medzi najznámejšie operačné systémy pre senzorové uzly môžeme zaradiť:

- TinyOS
- LiteOS
- eCos
- Contiki

TinyOS [2] - z roku 2000 je prvým operačným systémom navrhnutým pre senzorové siete. Je optimalizovaný pre nízku spotrebu elektrickej energie. Použiteľný pre PAN (Personal Area Network) siete, budovanie automatizácií, monitoring budov a oblastí, zber údajov.

Senzorový uzol vybavený týmto operačným systémom môže byť pripojený do rozsiahlych senzorových sietí. Umožňuje tiež obsluhovať IO (vstupno-výstupné) vývody, čím môže ovládať aj iné periférie, ktoré môžu byť k senzoru pripojené.

Operačný systém TinyOS bol vydaný a je šírený pod licenciou BSD (Berkeley Software Distribution), čo je licencia pre otvorený softvér zdarma. Využíva architektúru riadenia na báze akcií tzv. event-driving a má jeden zdieľaný pamäťový zásobník pre celý operačný systém a aplikácie bežiacie nad ním.

2. Architektúra senzorových sietí

Architektúra senzorových sietí je založená na využití takzvaného bázového uzla [3], ktorý má konektivitu do internetu a iných sietí a je schopný spracovať a odoslať dáta prijaté od senzorových uzlov. Bázový uzol sa nazýva aj Sink. Uzly prenášajú dáta k bázovému uzlu prostredníctvom senzorovej siete - najčastejšie susedných uzlov. Bázový uzol tak tvorí typ brány medzi používateľom a senzorovou sieťou.

Tento uzol môže byť k internetu pripojený ľubovoľnou dostupnou technológiou, ktorá sa v danej oblasti nachádza - Ethernet, WiFi, GSM (2G štandard pre mobilné komunikácie), LTE (4G štandard pre mobilné komunikácie - Long Term Evolution), 5G, ale aj rôzne siete pre IoT (Internet of Things) - Sigfox, LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), NB-IoT (NarrowBand - Internet of Things). Senzorová sieť môže obsahovať aj viacero bázových uzlov a reprezentovať dáta viacerým používateľom.

V senzorovej sieti môžeme rozdeliť entity uzlov na:

- **Koncový bod** - senzorový uzol vykonávajúci merania a prenos nameraných údajov
- **Smerovač** - má za úlohu rozšíriť pokrytie, smeruje dáta k bázovému uzlu. Poskytuje záložnú cestu v prípade výpadku časti siete (hlavne pre mesh topológiu). Pri hviezdicovej topológii smerovače nie sú, koncové body majú v priamom dosahu bázový uzol.

Celá senzorová sieť môže byť doplnená o špecifický protokol, ktorý definuje spôsob, štandard komunikácie a smerovania v sieti.

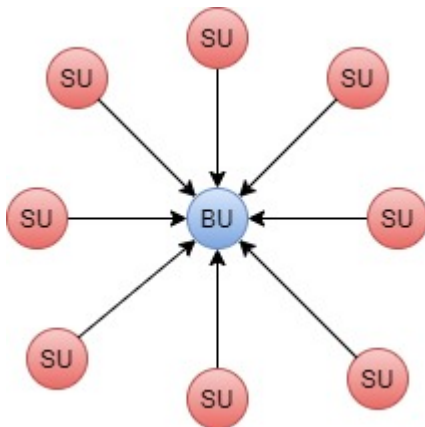
3. Topológia senzorových sietí

Pre senzorové siete existujú topológie [4] siete rovnaké, ako pre radu komunikačných sietí. Nájdeme tu jednoduché topológie spĺňajúce pripojenie senzorového uzla do siete bez zabezpečenia siete proti výpadku, kde môže zlyhanie jednej z ciest ochromiť celú sieť. Nájdeme tu však aj rôzne typy zaujímavých topológií predovšetkým mesh, hybridné, ktoré majú využitie aj pre vojenské účely, kde je nutné garantovať doručenie informácie aj výpadku niekoľkých komunikačných trás zároveň.

Hviezda

Topológia typu star je jednou z najbežnejších - vizuálne na obrázku Obr. 2 (BU → Bázový uzol, SU → Sensorový uzol). Elegantné riešenie pre senzorové siete s nízkym počtom senzorových uzlov. Uzly môžu byť priamo pripojené k bázovému uzlu a nie je nutné sieť deliť na mriežky, prípadne využívať smerovače.

V prípade zlyhanie trasy niektorého zo senzorových uzlov zlyhá iba daná trasa, zbytok siete funguje ďalej a je pripravený pre poskytovanie informácií bázovému uzlu, používateľovi. Takýto typ siete je vhodné pre menšie siete, kde je predpoklad výpadku malý a dátová prevádzka nie je objemná.



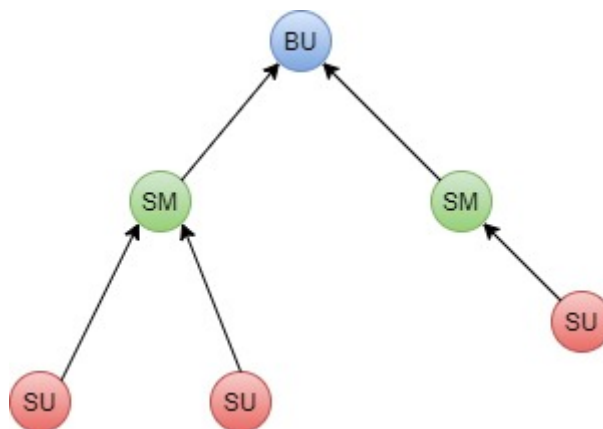
Obr. 2 - Hviezdicová topológia

Zdroj: Autor - nástroj Draw.io

Strom

Stromová topológia - nazývaná aj cluster. Rozvetvuje senzorovú sieť do hierarchických celkov, ktoré je možné efektívne riadiť a prispôbiť tak výkon siete, vizuálne na obrázku Obr. 3 (SM → Smerovač). Nevýhodou tejto topológie je, že pri vzniku výpadku na vetve stromu, je celá vetva nedostupná.

V prípade výpadku bázevej stanice - koreňa dokážu samostatne na komunikačnej úrovni fungovať aspoň jednotlivé vetvy lokálne. Smerovač tak môže vykonávať funkciu agregátora a spracovávať dáta zo sensorových uzlov nachádzajúcich sa na konci stromu - listoch, ktoré môže po nadviazaní spojenia s bázevou stanicou odovzdať používateľovi.



Obr. 3 - Topológia strom

Zdroj: Autor - nástroj Draw.io

Mesh

Typ zmiešanej topológie siete [5]. Kombinuje v sebe prvky všetkých dostupných topológií, pričom je každý sensorový uzol prepojený s niekoľkými ďalšími uzlami v sieti.

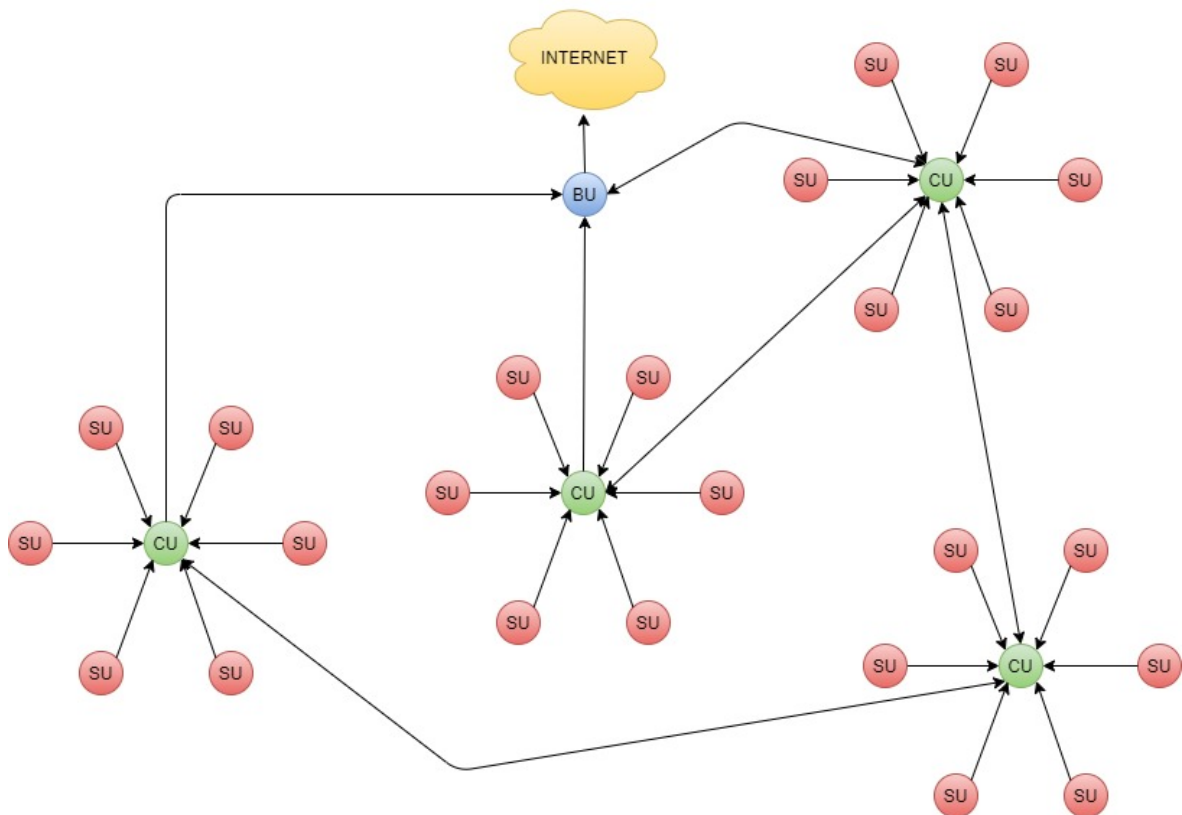
Podľa množstva prepojenia môžeme mesh sieť rozdeliť na:

- Čiastočný mesh
- Plný mesh

Čiastočný mesh (na Obr. 4) poskytuje čiastočnú redundanciu v prípade výpadku jednej z dostupných prenosových trás. Pri čiastočnom meshi sa vyžaduje, aby boli kritické uzly - bázevá stanica prepojená s viacerými smerovačmi, sensorovými uzlami. Tento dôraz však nie je kladený na koncové sensorové uzly.

V prípade, že je to možné, využíva sa plný mesh, ktorý je redundantný aj v prípade výpadku niekoľkých prenosových trás súčasne, nakoľko je prepojený každý sensorový uzol s každým v sieti. Pri meshi je nutné implementovať aj smerovaciu tabuľku a mechanizmus pred zacyklením. Záplavová prevádzka pri veľkom počte súčasne prepojených uzlov môže znamenať kolaps siete, alebo veľké oneskorenia a stratu informácií zo sensorových uzlov.

V senzorových sieťach sa najčastejšie používa čiastočný mesh, kedy sú prepojené viaceré clustre prostredníctvom cluster uzlov, nakoľko plný mesh je pri stovkách až tisícoch senzorov nereálny, najmä v káblových - pevných sieťach.



Obr. 4 - Čiastočný mesh smerovacích uzlov

Zdroj: Autor - nástroj Draw.io

4. Štandardy komunikácie

Štandard IEEE (Inštitút elektrických a elektronických inžinierov) 802.15.4 [6] vznikol v roku 2003 pre účely optimalizácie bezdrôtovej komunikácie pre nízku spotrebu elektrickej energie pre nízku prenosovú rýchlosť. Využitie tohto protokolu sa viaže predovšetkým pre senzorové siete. Definuje pravidlá pre fyzickú a dátovú - MAC (Media Access Control) vrstvu.

Vytvorený predovšetkým pre koncové senzorové uzly s nízkou komunikačnou a výkonovou výbavou. Pre komunikáciu boli štandardizované tri frekvenčné nelicencované pásma: 2,4 GHz, 868 MHz, 915 MHz. Podpora štandardu je aj pre využitie v rôznych sieťových topológiách, v ktorých sa senzorové uzly nachádzajú, napríklad hviezda, mesh a iné.

Dosah bezdrôtových senzorových bodov komunikujúcich pod štandardom IEEE 802.15.4 je rádovo 10 až 100 metrov, pričom dosahujú dátové rýchlosti na úrovni 10 až 250 kbps. Štandard je navrhnutý pre PAN siete. Pre štandard vznikli rozšírenia - jeho vyššie vrstvy (protokoly) pre užšie potreby jednotlivých sietí (najpoužívanejšie protokoly aj s využitím spomenuté v tabuľke Tab. 1).

Protokol	Využitie
Zigbee	Priemyselná a domáca automatizácia, zber údajov.
ISA100.11a	Automatizácia, riadenie.
WirelessHART	Aplikácie senzorových sietí využívajúce časovú synchronizáciu v mesh sieťach.
MiWi	Malé senzorové siete postavené na čipoch výrobcu Microchip v star topológii.
6LoWPAN	Jednoduché automatizácie s IPv6 konektivitou.
Z-Wave	Domáca automatizácia v mesh topológii

Tab. 1 - Najpoužívanejšie protokoly nad štandardom komunikácie IEEE 802.15.4

Senzorové uzly komunikujúce pod štandardom 802.15.4 využívajú pokročilý spôsob ochrany pred kolíziami známy z WiFi sietí pre prístup k médiu - CSMA/CA [7], ktorý prechádza kolíziám, ktoré môžu na sieti nastať generovaním náhodného čakacieho intervalu pred vysielaním.

Okrem tejto metódy prístupu môžu senzorové uzly využívať aj časovú metódu prístupu - TDMA [8], kedy v jasne definovanom časovom intervale môže stanica vysielat'.

4.1. ZigBee

Vyššia - sieťová a aplikačná vrstva [9] štandardu IEEE 802.15.4. Jedna z najpoužívanejších technológií. Navrhnutá predovšetkým pre automatizáciu a priemysel. Definuje tri druhy prenosov, ktoré sú určené pre rôzne aplikácie, čo rozširuje možnosti jej použitia:

- Periodický dátový prenos sa používa pri monitorovacích aplikáciách. Sensorové uzly poskytujú periodické vysielanie informácie. Výmenu dát kontroluje smerovač, prípadne básový uzol.
- Prerušovaný dátový prenos. Spustenie pri vykonaní určitej akcie na základe javu, externého signálu.
- Opakovaný prenos s nízkou spotrebou. Dôraz sa kladie na nízku odozvu. Použitie pre kritické aplikácie

Zariadenie môže taktiež využiť takzvaný spiaci mód, kedy sa odpojí zo siete a nevyužíva veľké množstvo elektrickej energie. Šetrí batériu, zároveň však neposkytuje sieťový prenos. Ak je nutné preniesť informáciu, vysielateľ sa zapne a zariadenie sa samo pripojí k sieti.

Spiaci režim sa využíva iba pre koncové uzly v sensorovej sieti. Pre potreby prenosu sieťou musia byť smerovače vždy dostupné pre prenos informácie k básovému uzlu. Tento uzol sa označuje v ZigBee sieti aj ako koordinátor (prevádzky). Sieťová vrstva, ktorá sa k ZigBee viaže umožňuje manažovanie sieťových operácií. Obsahuje postupy pre vytvorenie siete, pridanie a odoberanie uzlov.

Komunikačný model každého zariadenia môže byť konfigurovateľný, čo prináša možnosť prevádzky uzla ako smerovača, alebo sensorového - koncového uzla, prípadne ich kombináciu. Taktiež poskytuje časovú synchronizáciu medzi básovým uzlom (koordinátorom) a uzlami siete. Sieťová vrstva na základe protokolu generuje aj viac-skokovú (multi-hop) smerovaciu cestu.

Využitie tejto technológie je rôznorodé. Našla využitie v pokročilej automatizácii, ovládaní spotrebičov, radiátorových hlavíc. Technológiu využívajú aj rôzne typy počítačových periférií, napríklad bezdrôtové myši a klávesnice, slúchadlá a mikrofóny.

5. Smerovanie v senzorových sieťach

Všeobecne je možné smerovanie v senzorových sieťach rozdeliť na:

- Priame smerovanie
- Hierarchické smerovanie
- Smerovanie podľa polohy

Každý spôsob smerovania má svoje špecifiká. Spôsoby majú svoje výhody aj nevýhody a hodia sa na inú topológiu sietí. Typ smerovania sa v senzorovej sieti môže meniť aj na základe toho, koľko elektrickej energie koncovým uzlom zostáva.

Smerovanie podľa typu využívaného protokolu môžeme rozdeliť na:

- Viaccestné
- Dopytové
- Rokovacie (Negotiation based)
- Zamerané na kvalitu služby - QoS
- Koherentné a nekoherentné

Z pohľadu udržiavania prenosovej trasy:

- Reaktívne
- Proaktívne

5.1 Priame smerovanie

Využíva sa [10] v senzorových sieťach s veľkým počtom senzorových uzlov, ktorým nie je možné priradiť globálny identifikátor. Tento typ smerovania sa nazýva aj dátový. Bázový uzol si vyžiada prostredníctvom dopytu dáta z určitej oblasti.

Funkcia všetkých senzorových uzlov je rovnaká a podieľajú sa na senzorickom meraní. Dáta zo senzorov vo väčších sieťach môžu byť reprezentované vo formáte dát, napríklad XML, JSON, ktoré majú jasnú štruktúru a dokážu reprezentovať univerzálne dáta.

Nakoľko je tento typ smerovania dopytový, je ľahko škálovateľný a každá požiadavka môže byť špecifická. Môže obsahovať rôzne atribúty, ktoré chce bázový uzol získať. Atribúty môžu byť napríklad konkrétne fyzikálne veličiny. Smerovanie tohto typu je populárne, nakoľko do istej miery šetrí aj elektrickú energiu.

Senzorové uzly nemusia zasielať informáciu o veličine cyklicky, ale môžu pasívne fungovať na sieti a odpovedať na požiadavku nameraním a odoslaním hodnoty. Jedným z najznámejších priamych smerovacích algoritmov je MCFA (Minimum Cost Forwarding Algorithm).

Využíva skutočnosť, že smer smerovania je vždy známy k bárovému uzlu. Každý uzol siete uchováva počet skokov k bárovej stanici - najkratšiu cestu. Tým pádom nemusí uchovávať smerovaci tabuľku. Každý uzol v sieti pri prijatí správy z bárovej stanice ju rozpošle k susedným uzlom, ktoré si vzájomne porovnávajú kratšiu cestu k bárovej stanici.

Informácia putuje k vyšším smerovacím uzlom od uzla s nižšou vzdialenosťou k bárovému uzlu. To môže mať za následok, že uzly bližšie k bárovej stanici majú oveľa viac flood (záplavovej) prevádzky ako sensorové uzly nachádzajúce sa najďalej od bároveho uzla, čo môže v sieti vyvolávať omeškanie, či stratu dát.

Z toho dôvodu systém smerovania využíva algoritmus Backoff, ktorý zamedzuje uzlu odoslať aktualizovanú správu, kým neuplynie určitý časový rámeč. Tento rámeč je tvorený konštantou a vzdialenosťou spojenia k bárovému uzlu.

Gradientové smerovanie

Podobný smerovací algoritmus ako MCFA [11]. Využíva vlastnosť zapamätania si počtu preskokov k bárovej stanici každým sensorovým uzlom. Tým pádom vie uzol určiť svoju hĺbku v sensorovej sieti. Rozdiel medzi hĺbkou susednými uzlami sa nazýva gradient. Paket sa pri smerovaní posieľa na uzol s vyšším gradientom. Algoritmus využíva aj rôzne techniky pre load balancing ako napríklad agregáciu dát a výber smerovacej trasy.

Častokrát sa stáva, že je v sieťach typu mesh viacero uzlov s rovnakým gradientom. Náhodne sa stochastickým určením zvolí uzol cez ktorý sa prevádzka uskutoční. V prípade, že má smerovací uzol obmedzenú, alebo nízku hodnotu batérie, môže svoju hĺbku zmeniť, aby sa vyhne energeticky náročnému prenosu dát. Sieť ho pre smerovanie dát používať nebude.

Ďalšou technikou smerovania tohto algoritmu je využívanie prúdov, ktorými je možné určité časti sensorovej siete rozdeliť do celkov. Každý prúd má svoju predpokladanú trashu a iné prúdy sa do tejto komunikácie nemiešajú. Týmito technikami sa snaží gradientové smerovanie vyvážiť sieť, čím môže predĺžiť jej životnosť a spoľahlivosť.

Energeticky orientované smerovanie

Cieľom smerovania [12] je maximálna výdrž sensorovej siete pri prevádzke na batériu. Zachováva množinu všetkých možných prenosových ciest. Neorientuje sa na vybranú / preferovanú smerovaci cestu. Cesta je vybraná na základe systému pravdepodobnosti.

Pravdepodobnosť zvolenia každej z ciest závisí od zostávajúcej energie cesty. Takto je zaručené, že sa všetky dostupné trasy tak ľahko energeticky nevyčerpajú. Vďaka tomu je prevádzka siete predĺžená na maximum. Tento typ smerovania využíva smerovaci tabuľku. Tá obsahuje

nákladnosť zdroja k bázovému uzlu. V prípade väčších rozdielov medzi susednými uzlami a nákladovosti prenosu sa neefektívne cesty odstránia zo smerovacích tabuliek.

Inicializácia spojenia je realizovaná flood komunikáciou pre odhalenie všetkých dostupných trás. Odhad predĺženia životnosti siete oproti bežným smerovacím technikám je na úrovni takmer 50%.

5.2 Hierarchické smerovanie

Smerovacia technika [13] navrhnutá pre pevné (káblové) siete. Vhodné pre energeticky efektívne smerovanie aj v bezdrôtových senzorových sieťach. Cieľom je zvoliť tzv. cluster uzol, ktorý komunikuje s bázovým uzlom. Slúži na zber dát z pripojených senzorových uzlov. Cluster uzol riadi smerovanie a zodpovedá za to, že určuje kto a kedy vysiela.

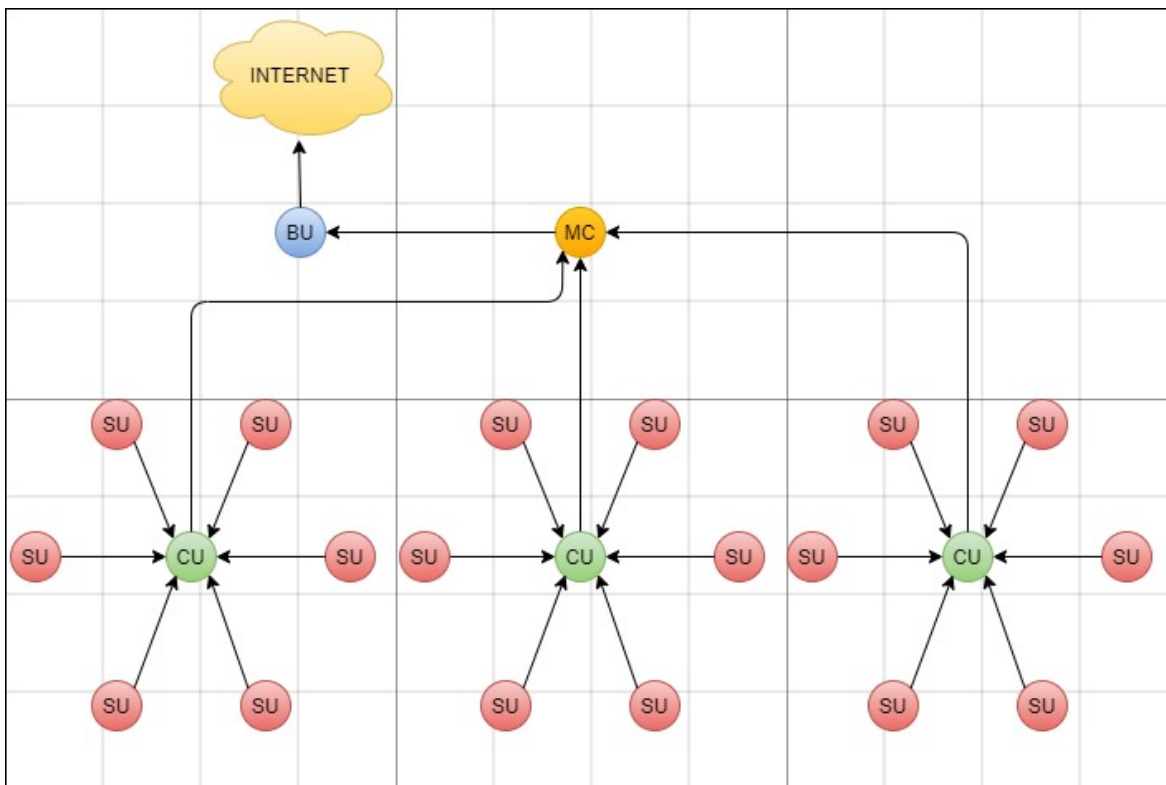
Danému uzlu je schopný priradiť komunikačný kanál. Energetické zaťaženie je skôr prenesené an senzorové uzly. Všetky senzorové uzly za cluster uzlom označujeme ako uzly priradené k danému clustru. Cluster uzol je tak jednoznačný identifikátor, pod ktorý uzly patria. Zhromažďovanie údajov je centralizované bázovou stanicou a je pravidelné.

Senzorové uzly využívajú prístupovú metódu TDMA, ktorá je riadená cluster uzlom. Samotné cluster uzly však využívajú metódu CDMA/CA pre komunikáciu s bázovým uzlom. Cluster agreguje (zhromažďuje) dáta zo všetkých senzorových uzlov a následne ich posielajú na bázovú stanicu.

Smerovanie vo virtuálnej mriežke

Umožňuje rozklad senzorových uzlov [14] v sieti do systému mriežok (vizualizované na Obr. 5). To umožňuje vyššiu energetickú efektivitu a tým predlžuje životnosť siete. Mriežka je štvorcová, respektíve obdĺžniková. V každej mriežke existuje jeden uzol, ktorý plní úlohu cluster uzla --> CU.

Každý cluster robí lokálnu agregáciu dát (z priamo pripojených senzorových uzlov). Vyššie clustre - nazývané aj Master clustre (MC) vykonávajú ako globálnu agregáciu, kedy prijímajú dáta aj zo susedných - lokálnych clustrov a distribuujú ich bázovej stanici, potažmo používateľovi. Bázová stanica môže byť umiestnená kdekoľvek v mriežkovom systéme.



Obr. 5 - Smerovanie vo virtuálnej mriežke medzi cluster a master uzlami

Zdroj: Autor - nástroj Draw.io

Hierarchické smerovanie s optimalizáciou napájania

Tento typ smerovania rozdeľuje senzorovú sieť hierarchicky [15] do skupín. Každá skupina je zoskupením susedných senzorov, s ktorými sa narába ako s entitou. Pri realizácii smerovania sa každá skupina samostatne rozhoduje ako bude smerovať - výber vhodnej trasy cez iné skupiny tak, aby bolo smerovanie efektívne najmä v súvislosti s elektrickou energiou.

Podstata algoritmu je založená na kompromise medzi minimalizáciou celkovej spotreby elektrickej energie a maximalizáciou minimálneho zvyškového výkonu siete. Algoritmus sa teda pokúša zvýšiť maximálnu a minimálnu cestu tým, že obmedzí spotrebu svojej elektrickej energie.

Algoritmus najskôr vyhledá cestu s najmenšou spotrebou energie s využitím Dijkstrovho algoritmu. V druhom kroku algoritmus nájde cestu, ktorá maximalizuje minimálny zvyškový výkon v sieti. Navrhovaný algoritmus sa snaží optimalizovať obe kritériá riešenia.

V senzorovej sieti existuje globálny radič, ktorý spravuje zóny a zároveň riadi smerovanie. Najčastejšie je to uzol s najvyšším výpočtovým výkonom, ktorý všetky tieto služby poskytuje.

5.3 Smerovanie podľa polohy

Uzly sú adresované na základe ich polohy [16]. Vzdialenosť uzla medzi susednými uzlami je možné odhadnúť meraním výkonu prijatého signálu. Pre presnejšie určenie polohy môžu byť senzorové uzly vybavené malým GPS (Globálny navigačný systém) nízkovýkonovým prijímačom.

Senzorové uzly v takýchto sieťach využívajú režim spánku pre ultra nízku spotrebu elektrickej energie. Preto sa v tejto sieti vyskytujú isté uzly, ktoré plnia aj kontrolnú funkciu a sú dostupné aj keď iné senzorové uzly spia.

Smerovanie geografickou adaptívnou presnosťou

Energeticky [17] orientovaný smerovací algoritmus založený na polohe. Používaný predovšetkým pre ad-hoc a senzorové siete. Tento typ smerovania používa virtuálnu mriežku, pričom uzly patriace do konkrétnej mriežky môžu nadobúdať rôzne úlohy.

Uzly patriaci do mriežky si zvolia jeden uzol, ktorý ostáva aktívny a plní monitorovaciu úlohu, reportuje bázovému uzlu zmeny v počte senzorových uzlov.

Geografická adaptívna presnosť definuje tri stavy, v ktorých sa môže uzol nachádzať:

- Objavovanie - skúma na základe výkonu prijatého signálu počet senzorových uzlov v mriežke
- Aktívna účasť na smerovaní - aktívne vykonáva smerovaciu funkciu svojej mriežky
- Spánok - senzorový uzol je v režime spánku, vysielateľ je vypnutý, nekomunikuje

Každý uzol mriežky si vypočíta náhodný čas spánku tak, aby dokázal byť v určitom čase mobilný a v prípade potreby mohol prevziať aj úlohu aktívneho uzla, zároveň sa však aktívnemu uzlu aj hlási, ktorý ho reportuje bázovému uzlu.

Tento čas je vždy menší ako čas aktivity aktívneho uzla, ktorý následne prechádza do režimu spánku. Veľkosť a tvar jednotlivých mriežok závisí najmä od vysielacieho výkonu. Tvar môže byť štvorcový, alebo obdĺžnikový.

5.4 Smerovanie podľa typu protokolu

Viaccestné smerovanie

Zvyšujú výkon siete použitím viacerých prenosových ciest [18]. Tento typ smerovania je tolerantný aj voči poruchám zlyhaniu hlavnej cesty, nakoľko má aj iné - alternatívne cesty. Prenos viacerými cestami je však energeticky viac náročné, s čím sa pri tomto smerovaní počíta. Alternatívne cesty sú udržiavané posielaním cyklických tzv. keep-alive správ.

Využívaný algoritmus pre viaccestné smerovanie využíva hlavnú trasu, ktorá má najlepší energetický stav. V prípade, že klesne energetický stav hlavnej cesty pod úroveň alternatívnej cesty, je vybraná práve tá. Všetky trasy sú tak striedavo využívané, čo predĺži životnosť siete, i keď je jej prevádzka viac energeticky náročná ako v prípade smerovacích protokolov slúžiacich pre maximálnu úsporu elektrickej energie.

Na druhú stranu je táto metóda energeticky výhodnejšia, ako posielat' rovnaký paket cez všetky dostupné prenosové trasy. Viaccestné smerovanie je populárne predovšetkým v senzorových sieťach v náročných podmienkach, keď je nutné garantovať úspešný prenos zo senzorových uzlov. Náklady prenosu pre alternatívne trasy sú porovnateľné s primárnou trasou, nakoľko sú susedné.

Dopytové smerovanie

Uzol senzorovej siete vykonáva dopyt do siete [19]. Jednotlivými parametrami (atribútmi) môže požadovať špecifické údaje. Sensorové uzly, ktoré dopytu zodpovedajú odpovedajú na dopyt uzlu, ktorý ho vykonal. Dopyt môže realizovať bázová stanica, prípadne ktorýkoľvek uzol v sieti, ktorý potrebuje dáta zo špecifického senzorového uzla.

Na existujúcej sieti sa počas jej behu a existencie zapisujú do tabuľky udalostí aj tzv. gradienty, ktoré určujú cestu ku špecifickej entite - uzlu, ktorý poskytuje tie dané údaje zo svojich senzorov. V prípade, že sa zaznamená nová veličina, prípadne dopyt s ktorým sa ešte sieť nestretla, systém ju automaticky priradí do tabuľky udalostí s cieľom, ktorý túto veličinu distribuuje.

Uzol negeneruje dopyt, kým sa nenaučí cieľ udalosti. V prípade, že cesta nie je známa, vykonáva dopyt náhodným smerom. Do istého času očakáva odpoveď od uzla, na ktorý bola vyslaná požiadavka. Ak uzol nedostane odpoveď, využije flood (záplavovú) správu na všetkých susedov.

Rokovacie smerovanie

Cieľom smerovania [20] je potlačiť nadbytočné dátové prenosy prostredníctvom rokovania. Potláča rôzne typy správ, ktoré majú za následok vysoké oneskorenia, alebo statu dát - predovšetkým duplicitné flood správy.

Rozhodovanie môže mať za následok vyššiu spotrebu elektrickej energie a môže vyžadovať uzly s vyšším výpočtovým výkonom schopné riadiť a smerovať prevádzku na tejto senzorovej sieti.

Smerovanie zamerané na kvalitu služby - QoS

Vyvážený typ smerovania, ktorý hľadá rovnováhu [21] medzi spotrebou elektrickej energie a kvalitou dát. QoS (Quality of Service) zastrešuje sieťové metriky súvisiace s garanciou doručovania dát do bázového uzla, oneskorenie, riadenie výkonu, energie. Využíva sekvenčný smerovací mechanizmus, ktorý riadi smerovanie v súvislosti s QoS.

Pre rozhodovanie využíva faktory - systém váh pre:

- Energetický zdroj
- QoS na každej z dostupných ciest
- Priorita paketu

Využíva viacecestný prístup, pričom cesty tvorí na základe stromového grafu s koreňom vo vysielacom uzle. Stromový graf siaha do cieľového uzla, takto získa všetky dostupné prenosové trasy. Pri určovaní cesty sa prenosová trasa vyhýba uzlom s nízkou elektrickou energiou, alebo nízkou úrovňou QoS.

V prípade výpadku preferovanej cesty sa využíva handshake systém pre obnovu trasy jednou z alternatívnych - susediacich trás. Toto smerovanie obsahuje objemné smerovacie tabuľky a nie je vhodné pre senzorové siete s veľkým počtom uzlov, čo násobne zväčšuje množstvo možných trás.

Koherentné a nekoherentné smerovanie

Spracovanie údajov je jednou z energeticky najnáročnejších operácií [22] v senzorových sieťach. Táto technika smerovania spracovania údajov pozostávajúca aj z čiastkového spracovania informácie senzorovým uzlom. Čiastkové spracovanie je proces, kedy senzorový uzol odstráni duplicity, pridá časové značky záznamov.

Túto - čiastkovo spracovanú informáciu odosielajú senzorové uzly vyšším uzlom na spracovanie. Tieto uzly môžeme nazvať agregátory. Pri nekoherentnom spracovaní sa informácia plne spracuje senzorovým uzlom a následne je odoslaná na vyšší uzol - agregátor. V porovnaní s koherentným smerovaním má nekoherentné smerovanie násobne nižšiu dátovú prevádzku.

Preto musí byť pri koherentnom smerovaní kladený dôraz predovšetkým na energetickú efektivitu zvolenia trasy. Taktiež je nutné určiť agregátor, ktorý musí disponovať dostatočným výpočtovým výkonom a energetickou schopnosťou.

V prípade vysokého počtu senzorových uzlov sú na agregátor kladené obrovské nároky najmä po výpočtovej stránke. Pre zvýšenie výkonnosti siete a redukciu oneskorení je možné limitovať počet zdrojov komunikujúcich s agregátorom.

5.5 Smerovanie podľa udržiavania prenosovej trasy**Reaktívne smerovanie**

Pasívny typ smerovania na vyžiadanie [23]. Pozostáva z fázy vyhľadávania, kedy uzol hľadá cestu k cieľu. Uzol udržiava cestu a na základe zmeny v topológii siete je uzol dokáže reagovať na zmeny. Časovo náročná metóda smerovania.

Proaktívne smerovanie

Smerovanie využívajúce smerovacie tabuľky pozostávajúce z cieľa a k ním vedúcich ciest. Informácie o smerovaní si vymieňajú susedné uzly vo forme vektorov popisujúcich vzdialenosti. Ak chce uzol siete komunikovať s cieľom, vyberie si z tabuľky záznam o nasledujúcom skoku - susednom bode, ktorú používa pri smerovaní.

Pri tomto type smerovania môžu existovať objemné tabuľkové záznamy, čo môže v sensorovej sieti spôsobiť významné omeškanie dátovej prevádzky. Z toho dôvodu je nutné použiť niektorú z metód pre optimalizáciu, napríklad spomínanú rokovaciu metódu smerovania.

V určitých typoch sensorových ale aj ad-hoc sietí sa používajú aj špeciálne - hybridné protokoly. Tie používajú isté časti z reaktívneho a proaktívneho smerovania, kedy istá podmnožina sensorových uzlov využíva reaktívne a druhá podmnožina proaktívne smerovanie.

Dátovo náročnejšie - proaktívne smerovanie využívajú najčastejšie najdôležitejšie uzly sensorovej siete, ktoré spravujú a korigujú sieťovú prevádzku, teda smerovače, cluster uzly. Pre koncové sensorové uzly postačuje využitie reaktívneho smerovania, nakoľko častokrát majú iba jednu možnú trasu ku cluster bodu, ktorý riadi celú komunikáciu k vyššiemu cluster uzlu, prípadne bázovej stanici.

6. Senzorové siete a ich bežné aplikácie

Senzorové siete našli využitie predovšetkým v týchto aplikáciách, pre ktoré existujú aj štandarizované uzly a spôsob ich použitia:

- Monitorovanie oblasti
- Zdravotníctvo
- Geomonitoring
- Priemysel a automatizácia

6.1 Monitorovanie oblasti

Jedna z najpoužívanejších aplikácií pre senzorové siete [24]. Cieľom je detegovať pohyb, vniknutie nepovolaných osôb do oblasti. Takáto oblasť sa nazýva aj polygón, ktorý je virtuálne určený rozmiestnením senzorových uzlov, ktoré danú oblasť pokrývajú.

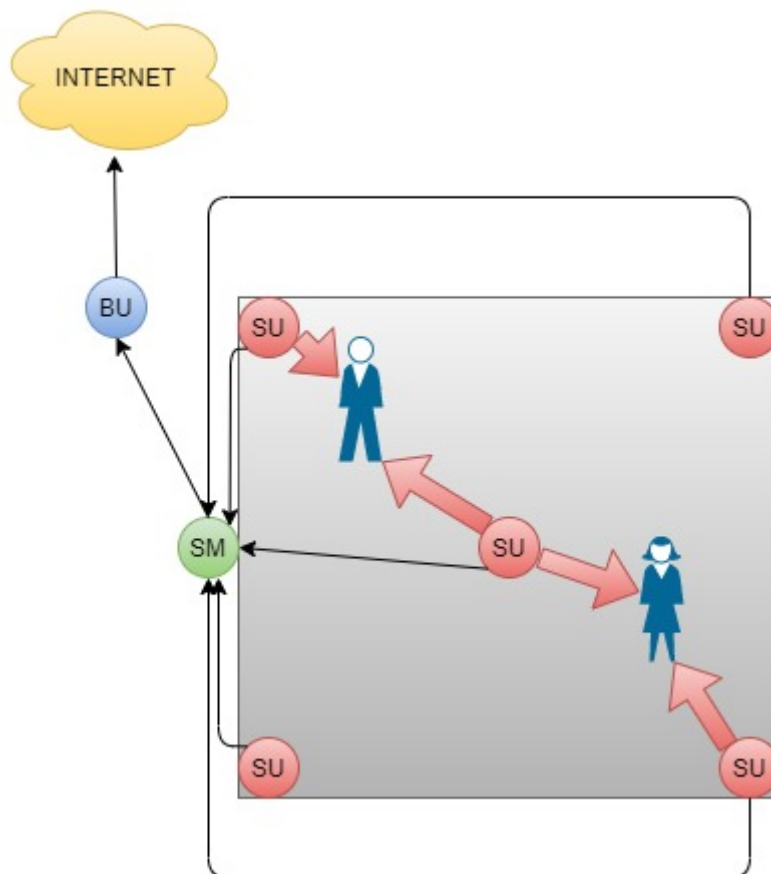
Uzly komunikujú s nadradeným systémom, ktorý na detekciu osoby upozornia obsluhu, políciu. Najčastejšie sa s monitorovaním oblasti stretávame pri mobilných vysielateľoch, súkromných pozemkoch, ropovodoch, zdrojoch pitnej vody a podobných aplikáciách, ktoré si vyžadujú istú mieru ochrany.

Pre záznam osoby je možné využiť rôzne radarové, ultrazvukové a laserové, infračervené senzory. Možné využitie aj pre monitorovanie a ochranu objektov, budov, pre súkromné, ale aj vojenské účely.

6.2 Zdravotníctvo

Aplikácia senzorových sietí v zdravotníctve je naozaj široká [25]. Sensory vytvárajúce sieť môžu byť umiestnené v priestore, kde sa pohybuje pacient, prípadne na jeho tele, alebo priamo v ňom. Cieľom senzorov využitých v zdravotníctve je diagnostikovať súčasný stav pacienta. Sensory umiestnené v priestore dokážu detegovať polohu tela v 3D priestore a poskytnúť tak aj vizuálny výstup, v akej polohe sa pacient nachádza.

Dokážu tak včasne upozorniť nemocničný personál, že pacient odpadol, prípadne je v neštandardnej polohe (sed, ľah, vzpriamená poloha). Dokážu určiť aj perimenter v ktorom sa osoba v miestnosti nachádza (napríklad s využitím radaru - na Obr. 6). Medzi tieto senzory môžeme zaradiť infračervené (dokážu aj priamo merať aj telesnú teplotu), ultrazvukové - schopné merať vzdialenosť, ale aj tlakové, ktoré sa nachádzajú v podlahe a je nimi možné určiť, že osoba leží na zemi, na posteli (rozdiel rozloženia tlaku na senzory), prípadne sedí na stoličke.



Obr. 6 - Príklad detekcie osôb a ich polohy v senzorovej sieti

Zdroj: Autor - nástroj Draw.io

Medzi nositeľné senzory môžeme zaradiť senzory schopné merať krvný tlak, cukor v krvi, srdcovú aktivitu, dehydratáciu. Špecifickou kategóriou sú senzory implantované do tela. Môžu merať rôzne veličiny (rovnako ako nositeľné), avšak dokážu senzorovým gyroskopom a akcelerometrom merať rotáciu tela, končatín, uhlovú rýchlosť pohybu.

To môže nájsť využitie napríklad pri upozornení na autohaváriu, zlomeninu končatiny, či jej amputáciu pri nemožnosti spojenia sa s inými senzormi obsiahnutými v senzorovej sieti vo vnútri tela.

6.3 Geomonitoring

Táto aplikácia senzorových sietí je najväčšia, čo sa týka množstva použitých senzorov [26] ale aj geografickej reprezentácie, keďže senzory môžu pokrývať prakticky celý svet pri monitorovaní rôznych prírodných javov.

Smog je jedným z nežiaducich javov, ktorý sa vyskytuje vo veľkých mestách. Toto znečistenie ovzdušia je vyprodukované ľudskou činnosťou a snaha miest je toto množstvo škodlivín korigovať.

Senzorové siete schopné merať množstvo plynov a častíc znečistenia v ovzduší pomáhajú v kontrole dodržiavania obmedzení množstva produkcie množstva nežiaducich plynov.

V roku 2019 Slovnaft Bratislava investoval do nákupu meracích senzorov pre meranie množstva oxidu siričitého v ovzduší. Od júla roka 2020 začal dáta poskytovať aj pre verejnosť na stránkach SHMÚ (Slovenského hydrometeorologického ústavu) → http://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=oko_imis_map_so2&p=SO2.

Ďalšou praktickou aplikáciou senzorových sietí v Geomonitoringu je kontrola stavu výšky hladiny vodných tokoch. To umožňuje meranie výšky hladiny riek na viacerých miestach a tým pádom je možné predikovať možné záplavy a vydať tak vyhlásenie rizika určitých stupňov pred stupajúcimi hladinami.

Prostredníctvom senzorových sietí je možné pozorovať aj prírodné javy súvisiace so seizmickou aktivitou. Aj na tento účel existujú senzorové siete schopné predpovedať zemetrasenie, tsunami, alebo obdobnú prírodnú hrozbu.

6.4 Priemysel a automatizácia

Automatizácia a priemysel sú úzko späté. Senzorové siete implementované do priemyslu umožňujú automatizovať procesy [27] súvisiace s výrobou, skladovaním, distribúciou, či kontrolou výrobkov. Môžu byť nasadené do rôznych priemyselných odvetví pre širokú škálu senzorických meraní.

Dnes predovšetkým automobilový priemysel môže ťažiť zo senzorových sietí nielen pri výrobe, ale aj pri rôznych asistenčných systémoch, ktorými sú automobily vybavené. Senzorové siete môžu poskytovať informácie o vozidle vodičovi, môžu zaznamenávať rôzne dôležité javy, ktoré môžu pre prevádzku vozidla nastať, rovnako tak i jeho stav.

Spomínaná technológia ZigBee je jedna z najpoužívanejších senzorových sietí pre domácu, ale i priemyselnú automatizáciu. Umožňuje autonómne riadiť celú domácnosť, elektrické spotrebiče, kúrenie, inteligentné termostatické hlavice na radiátoroch. Riadenie vykonáva základe dát zo senzorov, ktoré sú do siete pripojené.

7. Ukladanie dát

Všetky senzorové uzly v sieti sú vybavené pamäťou [28] typu ROM (Read-Only-Memory), rádovo v kB a RAM (Random-Access-Memory), rádovo veľkosťou pár B až kB. Úložisko typu ROM slúži na uloženie konfigurácie, firmvéru a softvérových funkcionalít. Je to energeticky nezávislá pamäť v ktorej ostávajú dáta aj po odpojení napájania.

Pamäť RAM môže uzol využiť pre dočasné dáta, napríklad pre smerovaciu tabuľku, históriu dopytov z bazového uzla, čiastkové výpočty, spracované dáta. Je energeticky závislá a odpojenie uzla od prívodu elektrickej energie znamená stratu dát.

Aby mohol mať k historickým i aktuálnym dátam prístup aj používateľ, musia byť uložené do vhodného prostredku, odkiaľ môžu byť používateľovi distribuované. Prenos dát do vyššieho rozhrania zo sensorovej siete vykonáva bazový uzol. Existujú rôzne databázové systémy na relačnej i nerelačnej báze, ktoré sa pre sensorové siete a záznam z nich používajú.

Medzi najznámejšie patrí open-source projekt InfluxDB [29]. Je typom veľmi rýchlej a optimalizovanej SQL (Structured Query Language) databázy. Umožňuje rýchle a dostupné ukladanie dát zo sensorových sietí v reálnom čase.

Každý uložený záznam v databáze je tvorený:

- Kľúčom
- Hodnotou
- Časovou značkou

Kľúč je nemenný a poskytuje systém tagovania pre sériu dát zo senzora. Tag môže byť prislúchajúci napríklad fyzikálnej merateľnej veličine. Čas môže obsahovať rôzne dostupné časové formáty v závislosti požiadaviek aplikácie. Časová značka tak môže byť tvorená rokom, mesiacom, dňom, ale aj 12 / 24 hodinovou reprezentáciou času s minútami a sekundami (Príklad uložených dát v InfluxDB s minútovou reprezentáciou nameraných dát v Tab. 2).

Dáta s časovým vývojom môžeme nazvať aj procesom výsledkov merania. InfluxDB umožňuje zápis dát pre TCP (Protokol riadenia prenosu) a UDP (Používateľský datagramový protokol) spojenia s webovou nadstavbou pre podporu HTTP (Hypertextový prenosový protokol).

Time	Value	Field (Key)
2020-12-10 12:40	20.48	Temperature_Bedroom
2020-12-10 12:41	20.54	Temperature_Bedroom
2020-12-10 12:42	20.33	Temperature_Bedroom
2020-12-10 12:43	20.44	Temperature_Bedroom
2020-12-10 12:44	20.38	Temperature_Bedroom
2020-12-10 12:45	20.41	Temperature_Bedroom

Tab. 2 - Príklad uložených záznamov v databáze InfluxDB

7.1. Vizualizácia dát

Cieľom vizualizácie dát [30] je ponúknuť používateľovi vhodnú metódu ich zobrazenia s možnosťou vizuálneho skúmania dát. Dáta uložené v InfluxDB môžu byť reprezentované používateľovi rôznymi grafickými nastavbami a špeciálnym softvérom (Na obrázku Obr. 7 prostredie Grafana s vizualizáciou nameraných veličín s časovou reprezentáciou).

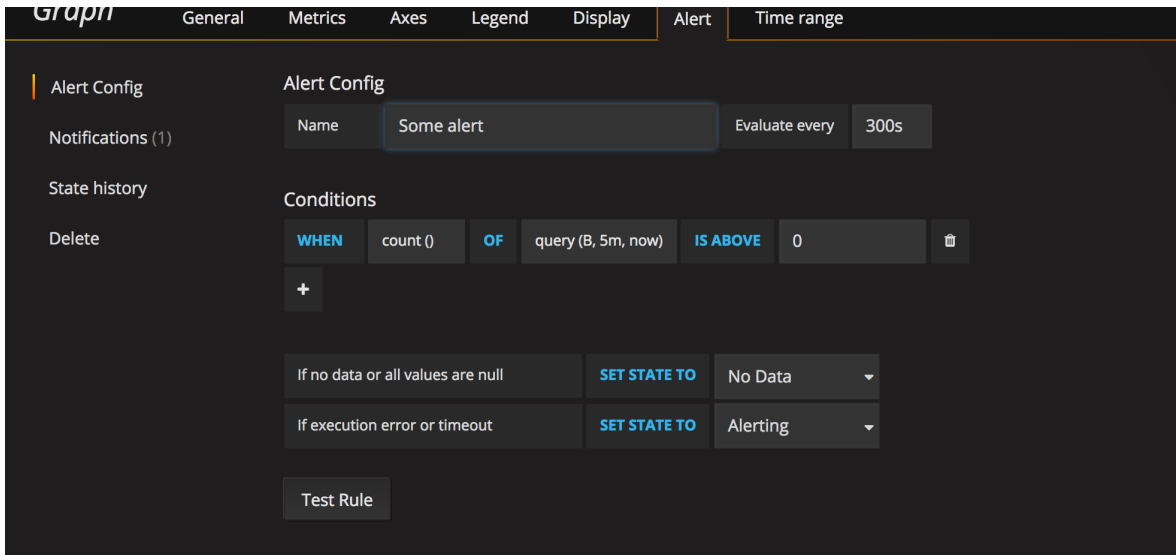


Obr. 7 - Prehľad nameraných údajov v prostredí Grafana

Zdroj: [31]

Jedným z najpopulárnejších profesionálnych vizualizačných nástrojov je Grafana [32]. Umožňuje grafickú vizualizáciu nameraných údajov v reálnom čase, poskytuje analytiku dát, teda ich môže vyhodnocovať na základe logických metód a úvah.

Grafana je plne škálovateľná a tak umožňuje používateľom vytvoriť si grafický prehľad - dashboard na mieru pre ich potreby. Prostredníctvom SQL dopytu dokáže Grafana prevziať dáta z InfluxDB a na základe časovej značky vizualizovať namerané údaje v čase. Grafana umožňuje aj určitú formu automatizácie vytváraním upozornení (znázornené na obrázku Obr. 8), ktoré si vyžadujú pozornosť, či zásah používateľa.



Obr. 8 - Príklad nastavenia upozornenia v prostredí Grafana

Zdroj: [33]

Používateľ si môže zvoliť konkrétnu veličinu a zvoliť si hranice, kedy ho môže systém upozorniť na krízové situácie, ktoré môžu nastať.

Príklad krízových situácií:

- Vysoká teplota kúrenia
- Porucha v systéme
- Chyba senzora - neplatné dáta
- Dosiahnutý bod mrazu
- Únik vody
- Žiadne dáta za určité časové obdobie (možná chyba konektivity sensorovej siete)
- a iné...

Grafana je schopná používateľa upovedomiť priamo vo webovom rozhraní administrácie, alebo formou e-mailu. Nástroj má rôzne možnosti rozšírenia v platenej verzii, ktoré prinášajú podporu Oracle databáz, bezpečnostné vylepšenia a mnoho iného.

Taktiež obsahuje možnosti pripojenia a autentizácie používateľov prostredníctvom moderných technológií a protokolov prístupu [34]:

- OAuth (otvorený štandard, možnosť prihlásenia Google, Twitter účtom)
- LDAP (protokol ľahkého prístupu k adresáru) pre možnosť pripojenia firemným loginom, prípadne realmom (prefixom doménového mena organizácie)
- SAML (otvorený štandard na výmenu autentifikačných a autorizačných údajov medzi poskytovateľom identity a služby)

Záver

Senzorové siete sú nasadené v rôznych aplikáciách súkromného, verejného, ale aj vojenského záujmu. Koncové uzly siete - senzorové uzly plnia úlohu merania fyzikálnych veličín prostredníctvom k nim prepojených senzorov. Merat' môžu akékoľvek veličiny, ktoré sa v danej aplikácii vyžadujú. Namerané údaje môžu byť použité pre účely výskumu, analýzy, automatizácie, či archivácie a následnej vizualizácie týchto dát.

Spomenuli sme historicky prvý operačný systém TinyOS pre senzorové siete, ktorý bol dokonca v roku 2013 využitý aj vo vesmíre na estónskom satelite ESTCube-1, ktorý vykonával vesmírne merania zo súbory pripojeným senzorových uzlov. Uzly v senzorových sieťach medzi sebou komunikujú na základe štandardu, respektíve protokolu, ktorý definuje pravidlá pre smerovanie.

Použitie konkrétneho protokolu závisí od siete, výpočtového výkonu jednotlivých uzlov, ich hardvérovej konfigurácie, ale aj podľa množstva elektrickej energie, ktorou jednotlivé uzly disponujú. Typy smerovania sme rozdelili podľa rôznych kritérií, na ktoré sa kladie dôraz pri ich výbere pre konkrétne senzorové siete a ich topológiu.

Niektoré ponúkajú rýchlosť na úkor spotreby elektrickej energie, iné sa snažia o maximálnu výdrž batérii uzlov v senzorovej sieti bez tvorby obrovských smerovacích tabuliek, ktoré môžu prenos oneskoriť najmä pre veľkých senzorových sieťach obsahujúcich niekoľko tisíc uzlov a sú najmä energeticky náročnejšie, nakoľko musia byť udržiavané v pamäti a aktualizované v pravidelných intervaloch. Na druhú stranu poskytujú možnosť redundantnej zálohy prenosových trás. Teda v prípade výpadku prenosovej trasy dokáže sieť okamžite reagovať na zmenu v topológii.

Každý typ smerovania má určité výhody a nevýhody. Senzorové siete sú stále súčasným trendom najmä v aplikáciách s nižším počtom senzorových uzlov, napríklad v domácej automatizácii, kde sa využíva štandard ZigBee, Z-Wave s topológiou typu hviezda / čiastočný mesh. Odhaduje sa, že s príchodom 5G sietí a rozšírením ich pokrytia sa do siete pripoja milióny zariadení po celom svete, medzi nimi aj senzorové siete a zaručí im konektivitu s ultra nízkou spotrebou a vysokými dátovými rýchlosťami.

Zoznam použitej literatúry

- [1]. PASSOW, P. a iní, "A wireless sensor node for long-term monitoring in life science applications", 2013 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), Minneapolis, MN, 2013, s. 898-901, doi: 10.1109/I2MTC.2013.6555545.
- [2]. TinyOS - dokumentácia [online]. GitHub, Inc. [cit. 2006-11-06]. Dostupné z: <https://github.com/tinyos/tinyos-main/blob/master/doc/pdf/tinyos-programming.pdf>
- [3]. KOHANBASH, D. a iní., "Base Station Design and Architecture for Wireless Sensor Networks", Január 2019, s. 2-3.
- [4]. MOUNIKA, P. a iní, "Performance analysis of wireless sensor network topologies for Zigbee using riverbed modeler", 2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC), Coimbatore, 2018, s. 1456-1459, doi: 10.1109/ICISC.2018.8399050.
- [5]. TANG, F. a iní, "Wireless Mesh Sensor Networks in Pervasive Environment: a Reliable Architecture and Routing Protocol", 2007 International Conference on Parallel Processing Workshops (ICPPW 2007), Xian, 2007, s. 72-72, doi: 10.1109/ICPPW.2007.83.
- [6]. IEEE - 802.15.4 [online]. IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2020.html
- [7]. CSMA/CA: definition and explanation of the method [online]. IONOS [cit. 2019-08-30]. Dostupné z: <https://www.ionos.com/digitalguide/server/know-how/csmaca-carrier-sense-multiple-access-with-collision-avoidance/>
- [8]. WYMEERSCH, F. a iní, "Multiple access control in wireless networks", Transmission Techniques for Digital Communications, 2016, s. 435-465, doi: 10.1109/ICPPW.2007.83.
- [9]. ZigBee Pro Specification [online]. Zigbee Alliance [cit. 2015-08-05]. Dostupné z: <https://zigbeealliance.org/wp-content/uploads/2019/11/docs-05-3474-21-0csg-zigbee-specification.pdf>
- [10]. KETSHABETSWE, K. L. a iní, "Communication protocols for wireless sensor networks: A survey and comparison", Heliyon 2007, s. 18-18, doi: 10.1016/Heliyon.2019.e01591
- [11]. WATTEYNE, T. a iní. (2010). Implementation of Gradient Routing in Wireless Sensor Networks. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM). 1 - 6. 10.1109/GLOCOM.2009.5425543
- [12]. CHANG, L. a iní, "Energy-Efficient Oriented Routing Algorithm in Wireless Sensor Networks", 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Manchester, 2013, s. 3813-3818, doi: 10.1109/SMC.2013.651

- [13]. LOTF, J. a iní. (2010). Hierarchical routing in wireless sensor networks: a survey. V3-650 . 10.1109/ICCET.2010.5485764
- [14]. YARINEZHADA, R. a iní, "Reducing delay and energy consumption in wireless sensor networks by making virtual grid infrastructure and using mobile sink", Elsevier 2017, s. 3-3, doi: 10.1016/2017/11026
- [15]. HAWBANI A. a iní. Sensors Grouping Hierarchy Structure (GHS) for Wireless Sensor Network. International Journal of Distributed Sensor Networks. 2015. doi: 10.1155/2015/650519
- [16]. ZHANG, J. a iní, "A Survey on Position-Based Routing Algorithms in Wireless Sensor Networks", Algorithms 2009, s. 4-5, doi:10.3390/A.2010.158, ISSN 1999-4893
- [17]. HONG, F. a iní, "Adaptive Energy and Location Aware Routing in Wireless Sensor Network", WASA 2010, s. 105-106, doi: 10.1007/978-3-642-14654-1_13
- [18]. RADI, M. a iní, "Multipath Routing in Wireless Sensor Networks: Survey and Research Challenges", Sensors 2012, s. 3-5, doi:10.3390/s120100650, ISSN 1424-8220
- [19]. BOUKERCHE A. a iní, "HPEQ A Hierarchical Periodic, Event-driven and Query-based Wireless Sensor Network Protocol," The IEEE Conference on Local Computer Networks 30th Anniversary (LCN'05), Sydney, NSW, 2005, s. 560-567, doi: 10.1109/LCN.2005.75.
- [20]. KULIK, J. a iní, "Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks", Wireless Networks 2002, s. 4-5
- [21]. FONOAGE, M. a iní. A QoS Based Routing Protocol for Wireless Sensor Networks. Conference Proceedings of the IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference. s: 123 - 124. doi:10.1109/PCCC.2010.5682321
- [22]. GAO J. L. a iní, "An adaptive network/routing algorithm for energy efficient cooperative signal processing in sensor networks," Proceedings, IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA, 2002, s. 3-3, doi: 10.1109/AERO.2002.1035241
- [23]. ZHAO, Q. a iní, "Energy Efficiency of Large-Scale Wireless Networks: Proactive Versus Reactive Networking", IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS 2005, s. 1-3
- [24]. HAMMOUDEH M. a iní., "A Wireless Sensor Network Border Monitoring System: Deployment Issues and Routing Protocols," in IEEE Sensors Journal, s: 2572-2573, 2017, doi: 10.1109/JSEN.2017.2672501
- [25]. JEONGGIL, K. a iní, "Wireless Sensor Networks for Healthcare", 2011, s. 1-5
- [26]. KANDRIS D. a iní, "Applications of Wireless Sensor Networks: An Up-to-Date Survey", MDPI 2020, s. 3-8, doi: 10.3390/asi3010014

- [27]. MAHMOOD, S. S. a iní, "International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)", Február 2020, s. 2-3, doi: 10.35940/ijitee.D1402.029420, ISSN: 2278-3075
- [28]. KARRAY, F. a iní, "A review on wireless sensor node architectures," 2014 9th International Symposium on Reconfigurable and Communication-Centric Systems-on-Chip (ReCoSoC), Montpellier, 2014, s. 2-4, doi: 10.1109/ReCoSoC.2014.6861346
- [29]. InfluxDB - dokumentácia [online]. InfluxData, Inc.. [cit. 2020-09-30]. Dostupné z: <https://docs.influxdata.com/influxdb/v2.0/>
- [30]. Data Visualization with Grafana [online]. GigaSpaces: In-Memory Computing Platform [cit. 2019-01]. Dostupné z: <https://docs.gigaspaces.com/solution-hub/data-visualization-grafana.html>
- [31]. Grafana - Live Demo [online]. Grafana Labs [cit. 2020-11-29]. Dostupné z: <https://play.grafana.org/>
- [32]. Grafana - dokumentácia [online]. Grafana Labs [cit. 2019-01]. Dostupné z: <https://grafana.com/docs/>
- [33]. Alerting in Grafana [online]. Bring Developer [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <https://developer.bring.com/blog/alerting-in-grafana/>
- [34]. User Authentication Overview [online]. Grafana Labs [cit. 2019-01]. Dostupné z: <https://grafana.com/docs/grafana/latest/auth/overview/>

Pracovný list

Rozdelenie jadra práce medzi autorov:

- **Bc. Martin Chlebovec** - Senzorové siete, smerovanie, architektúra a topológia
- **Bc. Kristián Garbera** - Senzorové siete a ich aplikácie, ukladanie dát, vizualizácia