

Tehnici de comunicare in comanda și controlul iluminatului

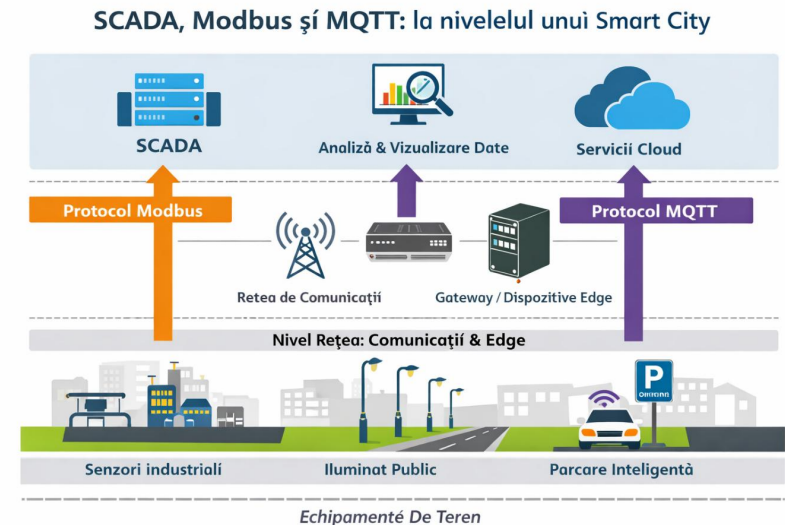
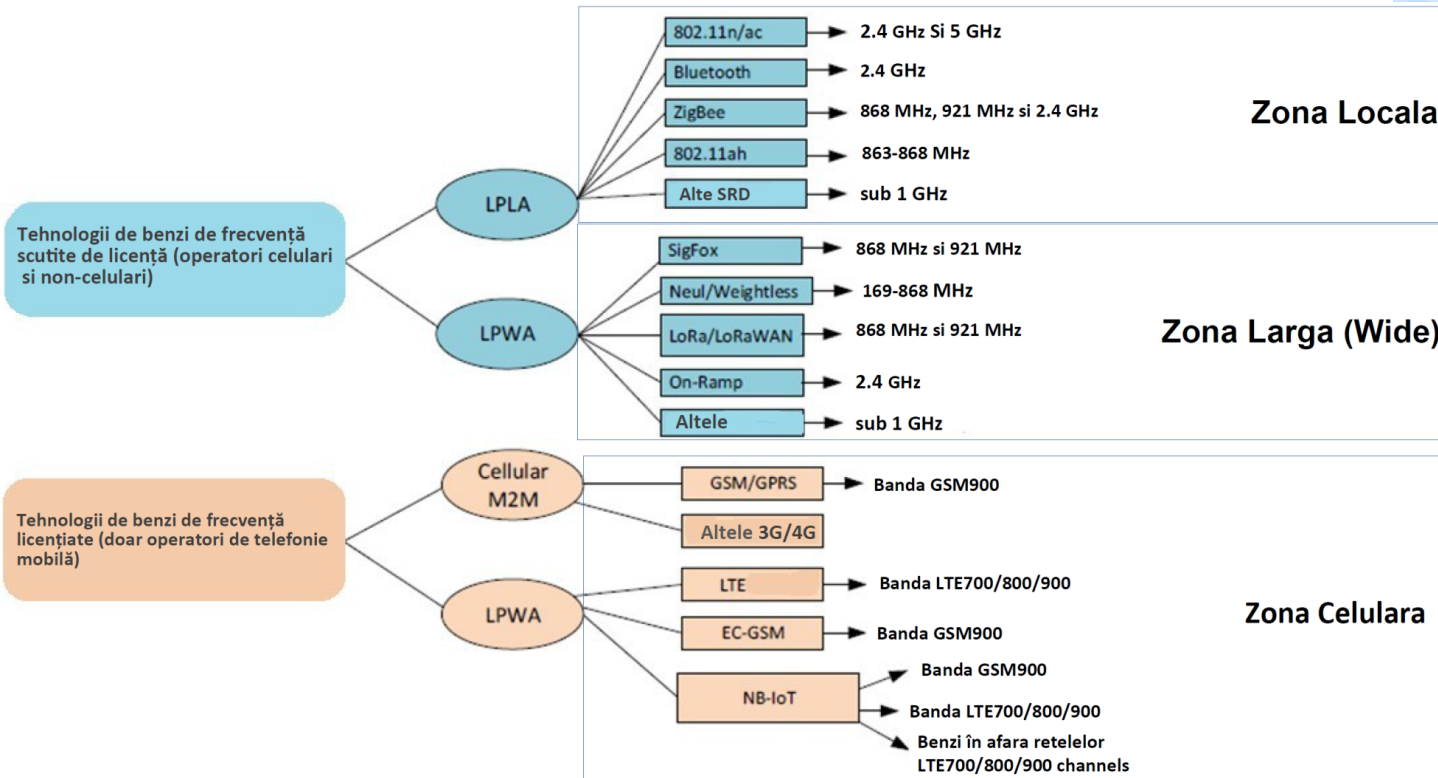
Prezintă:

Dr. Ing. Ioan Păuț

Ing. Constantin Opreșcu

Ing. Gheorghe Ichim

19 mar. 2026, ora 13



Tehnici de comunicare in comanda și controlul iluminatului

- În contextul dezvoltării infrastructurilor urbane moderne și al conceptului de oraș inteligent (Smart City), sistemele de iluminat public au evoluat semnificativ, depășind rolul tradițional de simplă furnizare a iluminării spațiilor publice. În prezent, iluminatul reprezintă o componentă importantă a infrastructurii urbane inteligente, integrată în sisteme digitale de monitorizare, control și optimizare a consumului energetic.
- În mod tradițional, sistemele de iluminat public au fost operate prin mecanisme simple de comandă, bazate pe puncte de aprindere centralizate care controlau simultan grupuri de aparate de iluminat. Aceste soluții erau eficiente din punct de vedere operațional în perioadele în care infrastructurile urbane aveau cerințe limitate de monitorizare și control, însă ofereau o flexibilitate redusă în ceea ce privește gestionarea individuală a echipamentelor sau optimizarea funcționării sistemului în funcție de condițiile reale din teren.
- Odată cu dezvoltarea tehnologiilor de comunicații și a sistemelor digitale de management urban, sistemele de iluminat au început să fie integrate în platforme de control inteligente, capabile să colecteze date din teren, să monitorizeze starea echipamentelor și să permită ajustarea modului de funcționare în timp real. Aceste evoluții au condus la apariția unor arhitecturi de control mai avansate, în care iluminatul poate fi gestionat atât la nivel de grup sau punct de aprindere, cât și la nivel individual al fiecărui aparat de iluminat.

Tehnici de comunicare in comanda și controlul iluminatului

- În cadrul infrastructurilor moderne de iluminat inteligent, sistemele de comandă și control permit monitorizarea parametrilor de funcționare a echipamentelor, optimizarea consumului energetic, detectarea rapidă a eventualelor defecțiuni și integrarea iluminatului în ecosistemele digitale ale orașelor inteligente. Prin utilizarea tehnologiilor de comunicații și a platformelor de management centralizat, autoritățile și operatorii de infrastructură pot gestiona mai eficient resursele energetice și pot adapta funcționarea sistemului la condițiile reale din mediul urban.
- Din perspectiva arhitecturii sistemelor de control, soluțiile moderne de management al iluminatului pot fi analizate pe două niveluri principale de comandă. Primul nivel este reprezentat de sistemele de comandă la nivelul punctelor de aprindere, în care grupuri de aparate de iluminat sunt controlate în mod centralizat. Al doilea nivel este reprezentat de sistemele de comandă la nivelul fiecărui aparat de iluminat, care permit controlul individual al echipamentelor și integrarea acestora în rețele inteligente de comunicații.
- În continuare, vor fi analizate aceste două niveluri de control ale infrastructurilor de iluminat, evidențind caracteristicile, avantajele și particularitățile fiecărei abordări în contextul dezvoltării sistemelor moderne de iluminat inteligent.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Comanda și controlul la nivelul punctului de aprindere

- Reprezintă o arhitectură de comandă centralizată, în care funcțiile de decizie (logică de comandă), comutație (relee/contactoare) și protecție (MCB, MCCB, RCBO) sunt integrate și concentrate la nivelul tabloului electric. Instalația de iluminat este configurată ca o sarcină colectivă, fără divizare funcțională la nivel de receptor. Comanda se realizează la nivel de circuit (plecare din tablou), prin acționarea echipamentelor de putere din interiorul tabloului, astfel încât toate corpurile de iluminat racordate pe aceeași plecare sunt alimentate sau întrerupte simultan, în baza deciziei generate de sistemul central



Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Controlul la nivel de circuit/plecare

- Controlul iluminatului la nivel de circuit, denumit în practică și control la nivel de plecare, reprezintă una dintre cele mai utilizate metode de gestionare a instalațiilor de iluminat, în special în sistemele tradiționale sau în implementările în care se urmărește o administrare simplificată a infrastructurii. În această configurație, instalația de iluminat este organizată pe circuite electrice distincte, fiecare circuit fiind protejat individual în tabloul electric și alimentând o zonă funcțională bine delimitată, cum ar fi o stradă, un tronson de iluminat, un etaj al unei clădiri sau un anumit spațiu urban.
- Prin această structură, toate aparatele de iluminat sau receptoarele conectate pe aceeași plecare sunt tratate din punct de vedere operațional ca un grup unitar. Comanda aplicată circuitului afectează simultan toate echipamentele alimentate de acesta, fără a exista posibilitatea diferențierii comportamentului individual al fiecărui aparat de iluminat. Această abordare a fost utilizată pe scară largă în sistemele clasice de iluminat public, datorită simplității de implementare și a costurilor reduse de instalare.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Controlul la nivel de circuit/plecare

- Prin această structură, toate aparatele de iluminat sau receptoarele conectate pe aceeași plecare sunt tratate din punct de vedere operațional ca un grup unitar. Comanda aplicată circuitului afectează simultan toate echipamentele alimentate de acesta, fără a exista posibilitatea diferențierii comportamentului individual al fiecărui aparat de iluminat. Această abordare a fost utilizată pe scară largă în sistemele clasice de iluminat public, datorită simplității de implementare și a costurilor reduse de instalare.
- Caracteristica definitorie a acestui tip de control constă în faptul că toate echipamentele conectate pe aceeași plecare funcționează simultan, conform comenzilor transmise la nivelul circuitului. Astfel, activarea sau dezactivarea alimentării electrice determină pornirea sau oprirea simultană a tuturor aparatelor de iluminat din zona respectivă.
- Din punct de vedere operațional, controlul la nivel de circuit poate fi realizat prin mai multe modalități tehnice. Una dintre cele mai simple metode este comanda de tip ON/OFF, realizată prin intermediul unei fotocelule sau al unui sistem astronomic care determină pornirea și oprirea iluminatului în funcție de nivelul luminii naturale sau de orele de răsărit și apus ale soarelui. O altă metodă utilizată frecvent este controlul bazat pe program orar, realizat prin intermediul unor ceasuri astronomice sau al unor sisteme de programare a funcționării instalației în anumite intervale de timp. În unele implementări, controlul circuitelor poate fi realizat și prin intermediul tehnologiilor de comunicație de tip PLC (Power Line Communication), care permit transmiterea comenzilor prin infrastructura electrică existentă.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Controlul la nivel de circuit/plecare

- Din perspectiva managementului energetic, controlul la nivel de circuit prezintă o serie de avantaje. Organizarea instalației pe circuite distincte permite realizarea unei zonări energetice, facilitând monitorizarea consumului de energie la nivelul fiecărui circuit. De asemenea, prin utilizarea programelor de funcționare diferențiate, este posibilă reducerea consumului energetic în anumite intervale orare sau în zone mai puțin utilizate, de exemplu prin reducerea fluxului luminos în timpul nopții.
- Un alt avantaj al acestei soluții îl reprezintă costurile relativ reduse de implementare. Comparativ cu sistemele de control individual al aparatelor de iluminat, controlul la nivel de circuit necesită o infrastructură tehnică mai simplă și investiții inițiale mai mici.
- Cu toate acestea, această abordare prezintă și anumite limitări. Controlul la nivel de circuit nu permite optimizarea funcționării fiecărui aparat de iluminat în mod individual, toate echipamentele conectate pe aceeași plecare fiind operate în mod identic. În plus, sistemul nu oferă posibilitatea identificării rapide a defectelor individuale ale aparatelor de iluminat și nu permite implementarea unor mecanisme avansate de reglaj adaptiv sau de control dinamic al fluxului luminos la nivel punctual.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Limitări ale controlului la nivel de circuit

- Deși controlul iluminatului la nivel de circuit reprezintă o soluție simplă și eficientă din punct de vedere operațional, această abordare prezintă o serie de limitări în comparație cu sistemele moderne de comandă bazate pe comunicații radio. O limitare importantă este lipsa unui sistem de monitorizare detaliată a stării echipamentelor. În sistemele clasice de control la nivel de circuit, eventualele defecțiuni ale aparatelor de iluminat pot fi identificate doar prin inspecții vizuale sau prin sesizări din teren. De asemenea, controlul la nivel de circuit nu permite implementarea unor mecanisme avansate de reglare adaptivă a fluxului luminos. În lipsa unui control individual și a unei infrastructuri de comunicații bidirecționale, astfel de funcționalități nu pot fi implementate în cazul controlului la nivel de circuit. O altă limitare se referă la capacitatea redusă de integrare în platformele digitale de management urban. Sistemele moderne de iluminat inteligent sunt concepute pentru a funcționa ca parte integrantă a infrastructurilor Smart City, unde datele provenite din teren sunt colectate și analizate în platforme centralizate.

Tip instalație	Configurație plecare (exemple)	Mod de operare	Adresabilitate	Monitorizare / identificare defect
Iluminat exterior – comandă clasică (relee/contactoare)	Tronson de stradă Zonă de parc Iluminat ornamental fațadă Parcare publică Zonă industrială	Toate corpurile alimentate pe plecare funcționează simultan (ON/OFF sau dimare de grup, dacă există 0–10 V)	Nu există adresare individuală	Nu există feedback punctual; defectele se identifică prin inspecție vizuală în teren
Iluminat interior – comandă clasică (relee/contactoare)	Open-space Etaj de birouri Sală de clasă Coridor Spații tehnice	Toate corpurile racordate pe plecare sunt comandate simultan	Nu există control individual per corp	Lipsă monitorizare granulară la nivel de receptor; identificare defect prin verificare locală
Iluminat exterior – comandă prin linia de alimentare (PLC)	Aceleași configurații de mai sus; fiecare corp echipat cu modul PLC	Comenzi transmise digital prin conductoarele de alimentare (suprapunere semnal HF peste 230/400 V)	Posibilă adresare individuală (ID unic per corp), pe grupuri logice sau broadcast pe plecare	Posibil feedback punctual (stare, consum, defect), în funcție de capacitățile driverului; sensibil la perturbații și topologia rețele
Iluminat interior – comandă prin linia de alimentare (PLC)	Zone funcționale interioare cu echipamente compatibile PLC	Control individual, pe grupuri sau pe întreaga plecare, fără cablaj suplimentar de date	Adresabilitate software independentă de structura electrică fizică	Monitorizare granulară disponibilă; performanța depinde de calitatea rețelei și de compatibilitatea echipamentelor

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Limitări ale controlului la nivel de circuit

- Pentru o analiză completă a sistemelor de control al iluminatului la nivel de circuit, este necesară și o observație privind soluțiile bazate pe comunicația prin linia de alimentare (Power Line Communication – PLC), întrucât pe piața locală pot fi întâlnite implementări care utilizează această tehnologie pentru transmiterea comenzilor și a informațiilor de stare prin infrastructura electrică existentă.
- În sistemele de comunicație prin linia de alimentare (Power Line Communication – PLC), transmiterea datelor se realizează prin suprapunerea unui semnal de comunicație de frecvență mai înaltă peste tensiunea de alimentare a rețelei electrice de joasă tensiune (50 Hz). Acest semnal de comunicație utilizează, în funcție de tehnologia implementată, diferite benzi de frecvență situate deasupra frecvenței rețelei electrice. Sistemele de control al echipamentelor electrice prin PLC, operează în general în benzi de frecvență situate între aproximativ 3 kHz și 500 kHz, în cazul tehnologiilor de tip narrowband PLC. Aceste frecvențe sunt utilizate pentru aplicații de control, telemetrie și management al infrastructurilor energetice, ce permit o propagare relativ stabilă a semnalului pe conductoarele rețelei electrice.
- Propagarea semnalului PLC pe un tronson al rețelei electrice este influențată de mai mulți factori fizici și electrici. Spre deosebire de cablurile dedicate pentru comunicații de date, conductoarele rețelei electrice nu sunt proiectate pentru transmisii de semnale de frecvență înaltă, ceea ce determină apariția unor fenomene precum atenuarea semnalului, reflexii sau variații de impedanță pe traseul de transmisie. Pe măsură ce semnalul PLC se propagă de-a lungul unui circuit electric, acesta poate suferi atenuări progresive, cauzate de lungimea conductorului, de caracteristicile cablului și de sarcinile electrice conectate pe circuit. Fiecare echipament conectat la rețea – de exemplu drivere LED, surse în comutație sau echipamente electronice – introduce o anumită impedanță și poate absorbi o parte din energia semnalului de comunicație.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Limitări ale controlului la nivel de circuit

- Un alt fenomen frecvent întâlnit este reflexia semnalului, care apare în punctele în care impedanța rețelei se modifică brusc, de exemplu în punctele de ramificație ale circuitului sau în zonele în care sunt conectate echipamente cu caracteristici electrice diferite. Aceste reflexii pot produce interferențe constructive sau distructive, afectând calitatea semnalului recepționat. În plus, rețeaua electrică este un mediu puternic afectat de zgomot electromagnetic generat de echipamentele conectate la circuit. Sursele de alimentare în comutație, driverile LED, convertizoarele electronice sau alte echipamente electrice pot introduce perturbații în banda de frecvență utilizată de comunicațiile PLC, ceea ce poate reduce raportul semnal-zgomot și poate afecta capacitatea echipamentelor de a interpreta corect semnalul transmis. În cazul unui tronșon de iluminat public, aceste efecte se pot manifesta sub forma unor variații ale calității comunicației între diferite puncte ale circuitului. Lungimea cablurilor, numărul de corpuri de iluminat conectate, tipul driverelor LED utilizate și configurația ramificațiilor electrice pot influența în mod direct stabilitatea comunicațiilor PLC.
- În aceste condiții, performanța comunicațiilor PLC poate deveni dependentă de starea și configurația rețelei electrice, ceea ce poate influența stabilitatea comunicațiilor, viteza efectivă de transmisie și latența în rețea. În aplicațiile moderne de iluminat inteligent, unde sistemele sunt integrate în infrastructuri Smart City și sunt utilizate pentru colectarea frecventă a datelor provenite de la senzori sau echipamente de monitorizare, aceste limitări pot afecta capacitatea sistemului de a furniza informații fiabile în timp util către platformele de analiză și control.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Sisteme de automatizare și management - SCADA

- În sistemele moderne de infrastructură tehnică, inclusiv în sistemele de iluminat inteligent integrate în platforme de tip Smart City, monitorizarea și controlul echipamentelor sunt realizate prin intermediul unor sisteme de automatizare și management centralizat. Unul dintre cele mai utilizate concepte în acest domeniu este reprezentat de sistemele SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), utilizate pentru supravegherea, controlul și colectarea datelor din sisteme distribuite.
- SCADA reprezintă un sistem complex de monitorizare și control care permite operatorilor să observe în timp real starea echipamentelor din teren, să colecteze date operaționale și să transmită comenzi către infrastructurile controlate. Aceste sisteme sunt utilizate pe scară largă în domenii precum infrastructurile energetice, sistemele industriale, transportul, distribuția apei sau managementul infrastructurilor urbane.
- Conceptul de bază al unui sistem SCADA se bazează pe existența unui centru de comandă care monitorizează și controlează procesele distribuite în teren. În majoritatea implementărilor, funcțiile de control direct sunt realizate automat de echipamentele locale – unități terminale de tip RTU (Remote Terminal Unit) sau controlere logice programabile PLC (Programmable Logic Controller). Centrul de comandă are în principal rolul de supraveghere, analiză și luare a deciziilor operaționale, intervenind atunci când sistemul detectează abateri de la parametrii normali de funcționare.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Sisteme de automatizare și management - SCADA

- Procesul de achiziție a datelor începe la nivelul echipamentelor din teren. RTU-urile sau PLC-urile colectează informații privind starea echipamentelor, valorile parametrilor mășurați sau funcționarea instalațiilor controlate. Aceste date sunt transmise către sistemul central SCADA, unde sunt organizate și prelucrate pentru a putea fi interpretate de operatori prin intermediul unei interfețe grafice dedicate, cunoscută sub denumirea de HMI (Human Machine Interface).
- În cadrul sistemelor SCADA, informațiile sunt organizate sub forma unor elemente denumite „puncte”. Un punct reprezintă o valoare de intrare sau de ieșire monitorizată sau controlată de sistem. Punctele pot reprezenta parametri fizici mășurați în teren (de exemplu tensiune, curent, temperatură sau stare de funcționare), dar pot fi și rezultate ale unor calcule sau corelații realizate de sistemul software. Valorile acestor puncte sunt stocate împreună cu momentul în care au fost înregistrate, formând astfel serii de date istorice care permit analiza evoluției sistemului în timp.
- Un element esențial al sistemelor SCADA îl reprezintă gestionarea alarmelor. Sistemul poate detecta automat situații anormale de funcționare și poate genera alerte pentru operatori atunci când anumite valori depășesc limitele stabilite. Aceste mecanisme permit identificarea rapidă a problemelor și intervenția eficientă asupra echipamentelor din teren.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Sisteme de automatizare și management - SCADA

- Arhitectura unui sistem SCADA include în mod obișnuit trei componente principale. Prima componentă este reprezentată de echipamentele din teren, respectiv RTU-urile sau PLC-urile, care colectează datele și controlează procesele locale. A doua componentă este stația master, reprezentată de serverele și aplicațiile software care gestionează comunicarea cu echipamentele distribuite și procesează informațiile colectate. A treia componentă este infrastructura de comunicație, care permite transmiterea datelor între echipamentele din teren și sistemul central.
- În funcție de configurația infrastructurii, comunicația dintre echipamentele de teren și sistemul SCADA poate utiliza diferite tehnologii de comunicație, precum conexiuni seriale, rețele Ethernet, comunicații radio sau rețele bazate pe protocol IP. Evoluția tehnologică a permis integrarea sistemelor SCADA în rețele digitale moderne, utilizând protocoale standardizate precum Modbus, IEC 60870-5-101/104, Profibus sau DNP3.
- În numeroase domenii tehnice și industriale, sistemele SCADA reprezintă una dintre cele mai utilizate soluții pentru monitorizarea și automatizarea proceselor distribuite. Datorită capacității lor de a integra echipamente din teren, de a colecta și analiza date în timp real și de a permite intervenții operaționale centralizate, aceste sisteme sunt utilizate pe scară largă în infrastructuri energetice, sisteme industriale, rețele de transport sau în managementul utilităților.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Automatizare prin protocolul MQTT (IoT – MQTT)

Automatizare prin protocolul MQTT

- În arhitecturile moderne de automatizare și monitorizare a infrastructurilor tehnice, transmiterea datelor între echipamentele din teren și platformele de management este realizată prin intermediul unor protocoale de comunicație optimizate pentru sisteme distribuite. Unul dintre protocoalele utilizate pe scară largă în aplicațiile Internet of Things (IoT) este MQTT (Message Queue Telemetry Transport).
- MQTT este un protocol de comunicație dezvoltat inițial pentru aplicații de telemetrie și transmisie eficientă a datelor între echipamente conectate prin rețele IP. Protocolul este proiectat pentru a funcționa eficient în medii cu resurse limitate, unde lățimea de bandă este redusă sau conexiunile sunt instabile, motiv pentru care utilizează pachete de date compacte și un mecanism simplificat de schimb al mesajelor.
- Principiul de funcționare al protocolului MQTT este bazat pe modelul publish–subscribe. În această arhitectură, comunicația dintre echipamente nu se realizează direct, ci prin intermediul unui server central denumit broker. Dispozitivele conectate la sistem pot publica informații către broker sau se pot abona pentru a primi date asociate unor anumite categorii de mesaje, denumite topicuri.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Automatizare prin protocolul MQTT (IoT – MQTT)

- Această separare între producătorii și consumatorii de informații permite realizarea unor sisteme scalabile, în care numeroase dispozitive pot transmite și primi date fără a necesita conexiuni directe între ele. În aplicațiile de monitorizare și automatizare, un senzor sau un controler poate publica periodic valori măsurate, iar aplicațiile de analiză, sistemele SCADA sau platformele software pot primi aceste informații prin abonarea la topicurile corespunzătoare.
- Protocolul MQTT permite transmiterea asincronă a mesajelor și funcționează eficient chiar și în situații în care conexiunile sunt intermitente sau dispozitivele transmit date la intervale variabile. Din aceste motive, MQTT este utilizat frecvent pentru integrarea echipamentelor de teren în platforme de analiză, sisteme de management al infrastructurilor sau servicii cloud.
- În arhitecturile moderne de automatizare, MQTT este adesea utilizat pentru transportul datelor colectate din teren către platformele de management și analiză, facilitând integrarea sistemelor distribuite într-o infrastructură digitală unitară.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Protocolul Modbus

- Modbus este unul dintre cele mai răspândite protocoale de comunicație utilizate în sistemele industriale de automatizare. Protocolul a fost dezvoltat inițial pentru interconectarea controlerelor logice programabile (PLC) și a devenit în timp un standard de facto pentru comunicațiile dintre echipamentele de control și dispozitivele de teren.
- Modbus funcționează pe baza unei arhitecturi **master–slave** sau **client–server**, în care un dispozitiv central interoghează periodic echipamentele conectate pentru a citi sau modifica valorile unor registre interne. Fiecare dispozitiv din rețea are o adresă unică, iar comunicația se realizează prin trimiterea unor comenzi către aceste adrese.
- Protocolul permite citirea parametrilor măsurati de senzori sau echipamente, precum și transmiterea unor comenzi de control către acestea. Din acest motiv, Modbus este utilizat frecvent în sistemele SCADA și în aplicațiile industriale de monitorizare și control

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

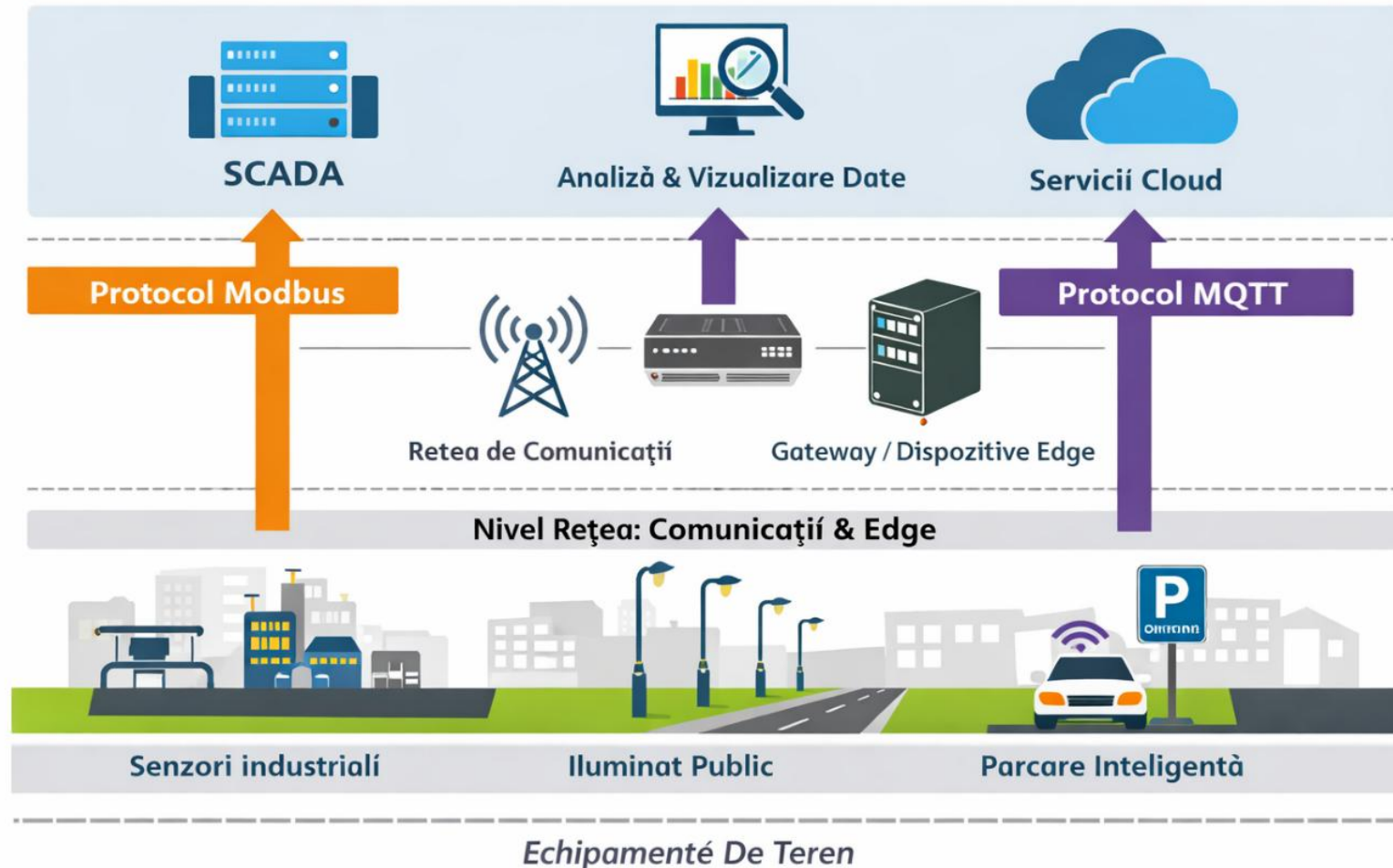
Protocolul Modbus

- În funcție de mediul de transmisie utilizat, protocolul Modbus poate fi implementat în mai multe variante. Modbus RTU și Modbus ASCII sunt utilizate în comunicații seriale, în timp ce Modbus TCP/IP este utilizat în rețele Ethernet și în infrastructuri bazate pe protocolul IP.
- Modbus RTU utilizează un format binar compact pentru transmiterea datelor și mecanisme de verificare a integrității mesajelor bazate pe CRC (Cyclic Redundancy Check). Varianta Modbus TCP/IP utilizează infrastructura rețelelor Ethernet pentru transmiterea datelor și este utilizată frecvent pentru integrarea echipamentelor industriale în sisteme de automatizare moderne.
- În arhitecturile de automatizare distribuită, protocolul Modbus este utilizat în principal pentru comunicațiile locale dintre controlere, senzori și echipamentele de teren, asigurând schimbul de informații necesar pentru funcționarea sistemelor de monitorizare și control.

Tehnici de comunicare in comanda și controlul iluminatului

Arhitectura Smart City: SCADA – Modbus - MQTT

SCADA, Modbus și MQTT: la nivelele unui Smart City



Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Subsistemele de comanda și control pentru iluminatul exterior

- În sistemele de iluminat exterior, funcționarea instalațiilor este realizată prin intermediul unor subsisteme de comandă și control amplasate, de regulă, la nivelul punctelor de aprindere sau al tablourilor electrice de alimentare. Aceste subsisteme au rolul de a asigura pornirea, oprirea și, în unele cazuri, reglarea funcționării instalațiilor de iluminat în funcție de condițiile de mediu, programele de funcționare sau comenzile provenite din sisteme de management. În practică, există mai multe tipuri de soluții utilizate pentru realizarea acestor funcții, fiecare având caracteristici tehnice și domenii specifice de aplicare.

Comandă prin “ceas astronomic”

- Comanda prin ceas astronomic reprezintă una dintre cele mai utilizate metode de control pentru instalațiile de iluminat exterior. Acest sistem utilizează un dispozitiv electronic care calculează automat momentele de răsărit și apus ale soarelui pe baza coordonatelor geografice și a datei calendaristice. În funcție de aceste informații, ceasul astronomic transmite comenzi de pornire și oprire a instalației de iluminat la momentele corespunzătoare. Avantajul principal al acestei soluții constă în funcționarea predictibilă și stabilă, independentă de condițiile locale de iluminare, precum și în posibilitatea ajustării programelor de funcționare pentru diferite perioade ale anului.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Subsistemele de comanda și control pentru iluminatul exterior

Comandă prin fotocelulă

- Comanda prin fotocelulă se bazează pe detectarea nivelului real de lumină ambientală din mediul exterior. Fotocelula este un senzor optic care măsoară intensitatea luminii naturale și transmite o comandă de pornire a iluminatului atunci când nivelul de iluminare scade sub un prag prestabilit. În mod similar, atunci când nivelul de lumină ambientală crește peste valoarea stabilită, sistemul transmite comanda de oprire a instalației. Această metodă permite adaptarea automată a funcționării iluminatului la condițiile reale de mediu, fiind utilizată frecvent în aplicații unde variațiile de lumină pot apărea din cauza condițiilor meteorologice sau a particularităților locale.

Comandă prin PLC în tablou

- În sistemele moderne de iluminat, controlul instalațiilor poate fi realizat prin intermediul unui controler logic programabil (PLC) instalat în tabloul electric al punctului de aprindere. PLC-ul permite implementarea unor logici de control mai complexe decât cele oferite de sistemele clasice, putând integra programe orare, informații provenite de la senzori sau semnale primite din alte sisteme de automatizare. Utilizarea PLC-urilor oferă flexibilitate în configurarea modului de funcționare al instalației și permite adaptarea sistemului la cerințe operaționale mai complexe.

PLC pe linia de alimentare (Power Line Communication)

- În unele implementări, comenzile și informațiile de monitorizare pot fi transmise prin intermediul rețelei electrice de alimentare, utilizând tehnologii de tip Power Line Communication (PLC). În această configurație, semnalele de comunicație sunt suprapuse peste conductorii de alimentare existenți, fără a fi necesară instalarea unei infrastructuri suplimentare de comunicație. Prin această metodă, echipamentele instalate în teren pot primi comenzi sau pot transmite informații privind starea lor de funcționare prin intermediul aceleiași rețele electrice care asigură alimentarea acestora.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Subsistemele de comanda și control pentru iluminatul exterior

Sistem SCADA pentru puncte de aprindere

- În infrastructurile mai complexe, punctele de aprindere ale sistemelor de iluminat pot fi integrate într-un sistem de monitorizare și control de tip SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Prin intermediul acestui sistem, operatorii pot monitoriza în timp real starea echipamentelor, pot vizualiza parametrii de funcționare ai instalațiilor și pot transmite comenzi de control către punctele de aprindere distribuite în rețea. Sistemele SCADA permit centralizarea informațiilor provenite din teren și oferă instrumente pentru analiza și gestionarea eficientă a infrastructurii.

Telegestiune la nivel de tablou electric de aprindere

- Telegestiunea la nivelul tablourilor electrice de aprindere reprezintă o soluție de control la distanță care permite monitorizarea și administrarea instalațiilor de iluminat fără intervenții locale. Prin intermediul unor echipamente de comunicație instalate în tablourile electrice, operatorii pot primi informații privind starea circuitelor, consumul energetic sau eventualele defecte apărute în sistem. De asemenea, sistemul permite transmiterea comenzilor de pornire, oprire sau modificare a programelor de funcționare direct din platforma de management, contribuind la creșterea eficienței operaționale și la optimizarea exploatarea instalațiilor de iluminat exterior.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Subsistemele de comanda și control pentru iluminatul de interior

În instalațiile de iluminat interior, sistemele de comandă și control sunt concepute pentru a asigura funcționarea eficientă a aparatelor de iluminat în funcție de utilizarea spațiului, de programul de funcționare al clădirii și de condițiile de ocupare ale încăperilor. Spre deosebire de iluminatul exterior, unde controlul este realizat frecvent la nivelul circuitelor sau al punctelor de aprindere, în iluminatul interior soluțiile de comandă sunt orientate către zone funcționale ale clădirii, precum birouri, coridoare, săli de conferință sau spații tehnice. În practică, aceste sisteme pot utiliza diferite metode de comandă și control, fiecare adaptată specificului aplicației și nivelului de automatizare dorit.

Contactori temporizați

- Contactori temporizați sunt utilizați frecvent în instalațiile de iluminat interior pentru controlul circuitelor electrice în funcție de un interval de timp prestabilit. Aceștia permit alimentarea aparatelor de iluminat pentru o durată determinată după activarea unui buton de comandă sau a unui senzor, după care circuitul este întrerupt automat. Această soluție este utilizată în special în spații cu utilizare temporară, precum casa scării, coridoare sau spații de acces, unde iluminatul trebuie să funcționeze doar pentru perioade limitate de timp.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Subsistemele de comanda și control pentru iluminatul de interior

Comandă prin BMS la nivel de zonă

- În clădirile moderne, sistemele de iluminat interior pot fi integrate într-un sistem de management al clădirii (BMS – Building Management System). În această configurație, iluminatul este controlat la nivel de zone funcționale, fiecare zonă fiind administrată prin intermediul sistemului central. BMS permite monitorizarea și controlul diferitelor instalații ale clădirii – iluminat, climatizare, ventilație sau securitate – oferind posibilitatea coordonării acestora într-un mod integrat. Prin intermediul platformei BMS, operatorii pot modifica programele de funcționare ale iluminatului sau pot adapta nivelul de iluminare în funcție de necesitățile utilizatorilor.

Comutare scenarii pe circuit

- Comutarea scenariilor de iluminat reprezintă o metodă de control utilizată în spații în care este necesară adaptarea iluminării la diferite tipuri de activități. În această configurație, mai multe aparate de iluminat sau circuite pot fi comandate simultan pentru a crea diferite scenarii de iluminare, cum ar fi modul de lucru, modul prezentare sau iluminarea ambientală. Scenariile sunt realizate prin combinarea diferitelor circuite de iluminat sau prin reglarea nivelului de iluminare al acestora, oferind flexibilitate în utilizarea spațiului.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Subsistemele de comanda și control pentru iluminatul de interior

Control prin senzori de prezență la nivel de linie

- Controlul iluminatului prin senzori de prezență permite activarea automată a corpurilor de iluminat atunci când este detectată prezența unei persoane într-o anumită zonă. Senzorii pot fi instalați astfel încât să controleze un întreg circuit sau o linie de iluminat, pornind automat sistemul atunci când spațiul este utilizat și oprindu-l după o perioadă de inactivitate. Această metodă contribuie la reducerea consumului de energie și la optimizarea funcționării instalației, fiind utilizată frecvent în birouri, spații de circulație sau zone cu utilizare intermitentă.

Dimming pe circuit (0–10 V la nivel de grup)

- În anumite aplicații de iluminat interior, nivelul de iluminare poate fi reglat prin intermediul sistemelor de dimming la nivel de circuit sau de grup de corpuri de iluminat. Unul dintre cele mai utilizate sisteme analogice este controlul prin semnal 0–10 V, care permite reglarea fluxului luminos al aparatelor de iluminat prin intermediul unui semnal de tensiune variabilă. În această configurație, mai multe aparate de iluminat sunt controlate simultan, formând un grup care poate fi reglat în mod unitar. Această soluție este utilizată frecvent în spații de birouri, săli de conferință sau zone comerciale, unde adaptarea nivelului de iluminare contribuie la confortul vizual și la eficiența energetică a instalației.

Tehnici de comunicare in comanda și controlul iluminatului

Comanda și controlul aparatelor de iluminat

- În prezent, tehnologiile de comunicație radio sunt utilizate pe scară largă în numeroase aplicații din viața de zi cu zi, de la telefonia mobilă și rețelele Wi-Fi până la diverse sisteme inteligente integrate în infrastructură urbană sau în clădiri. Aceste tehnologii permit transmiterea informațiilor fără utilizarea cablurilor, prin intermediul undelor radio, oferind posibilitatea conectării și coordonării unui număr mare de dispozitive aflate la distanță unele de altele.
- Același principiu este utilizat și în cazul sistemelor moderne de comandă și control la nivelul aparatului de iluminat. Prin integrarea unor module de comunicație radio în echipamente sau dispozitive electrice, fiecare aparat poate transmite și primi informații către un sistem central de monitorizare și management. Astfel, funcționarea echipamentelor poate fi gestionată de la distanță, fiind posibilă pornirea sau oprirea acestora, ajustarea parametrilor de funcționare, monitorizarea consumului de energie sau identificarea rapidă a eventualelor defecțiuni.

Tehnici de comunicare in comanda și controlul iluminatului

Comunicațiile radio in sistemele de tip “Smart City”

- În contextul dezvoltării orașelor inteligente („Smart City”), spectrul radio devine o resursă esențială pentru interconectarea și funcționarea unei game largi de sisteme și servicii digitale. Conform principiilor prezentate în documentațiile internaționale privind managementul spectrului radio, acesta reprezintă o infrastructură invizibilă care permite funcționarea simultană a numeroase tehnologii de comunicație, precum rețelele mobile, sistemele Wi-Fi, dispozitivele IoT sau diverse aplicații de monitorizare și control distribuite în mediul urban. Prin utilizarea eficientă și coordonată a frecvențelor radio, orașele pot integra diferite echipamente și senzori conectați, facilitând schimbul de date între dispozitive și platformele de management urban. În acest mod, spectrul radio devine un element fundamental în susținerea aplicațiilor Smart City, inclusiv pentru gestionarea infrastructurilor urbane, monitorizarea mediului, mobilitatea inteligentă sau controlul sistemelor de iluminat și al altor echipamente distribuite în teritoriu.



Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Reglementarea utilizării echipamentelor radio în România

- La nivel național, utilizarea echipamentelor radio și punerea acestora la dispoziție pe piață sunt reglementate printr-un cadru legislativ specific, iar aplicarea și monitorizarea respectării acestor prevederi revin unor autorități publice competente. În România, Autoritatea Națională pentru Administrare și Reglementare în Comunicații (ANCOM) și Autoritatea Națională pentru Protecția Consumatorilor (ANPC) sunt instituțiile responsabile pentru aplicarea legislației în vigoare în domeniul echipamentelor radio și pentru desfășurarea activităților de supraveghere și control al pieței.
- Activitatea de supraveghere și control realizată de ANCOM vizează verificarea conformității echipamentelor radio puse la dispoziție pe piață, precum și a celor aflate în utilizare la nivelul utilizatorilor finali. În paralel, ANPC are atribuții în ceea ce privește verificarea conformității echipamentelor radio aflate în posesia consumatorilor, în cadrul activităților specifice de protecție a consumatorilor.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Arhitectura comunicațiilor în orașele sustenabile

- Din perspectiva comunicațiilor, arhitectura unui oraș inteligent (Smart Sustainable City) analizează modul în care infrastructura de comunicații poate fi organizată pentru a facilita planificarea, proiectarea și funcționarea sistemelor urbane inteligente. Această abordare urmărește structurarea facilităților de comunicații astfel încât diferitele subsisteme ale arhitecturii să poată comunica eficient, ținând cont de constrângeri geografice, cerințe de lățime de bandă, fiabilitate și scalabilitate.



Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Arhitectura comunicațiilor în orașele sustenabile

- În acest context, arhitectura de comunicații examinează elementele de rețea necesare pentru interconectarea sistemelor și aplicațiilor urbane, precum infrastructurile de transport, sistemele de iluminat inteligent, senzorii urbani sau alte platforme digitale utilizate în gestionarea serviciilor publice. În diferitele subsisteme ale arhitecturii, pot fi utilizate mai multe tipuri de infrastructuri și tehnologii de comunicații. Printre acestea se regăsesc rețelele cablate, cum ar fi rețelele bazate pe fibră optică sau alte tipuri de infrastructuri fizice instalate la nivelul orașului, care oferă capacitate mare de transmisie și stabilitate ridicată. **De asemenea rețelele wireless permit transmiterea datelor fără cabluri și oferă flexibilitate în implementare. Exemple de astfel de tehnologii includ rețelele WiFi, WiMax, rețelele mobile GSM sau rețelele mobile de generație mai nouă, precum cele bazate pe tehnologia 4G.**
- Din punct de vedere al ariei geografice acoperite, aceste tipuri de rețele pot fi organizate în trei niveluri principale.
- **Primul nivel** este reprezentat de rețelele globale sau de tip wide area network, care acoperă întregul oraș sau chiar interconectează infrastructuri urbane cu sisteme externe. **Al doilea nivel** este cel regional, care corespunde unor zone urbane sau cartiere și facilitează comunicarea între infrastructurile locale din aceste zone. **Al treilea nivel** - nivelul local este reprezentat de rețelele de tip local area network, utilizate în interiorul clădirilor sau al unor grupuri de infrastructuri urbane apropiate, asigurând conectivitatea dispozitivelor și echipamentelor din proximitate.
- **Aceste niveluri de rețea – global, regional și local** – nu funcționează în mod izolat, ci sunt interconectate și se completează reciproc în cadrul arhitecturii de comunicații a unui oraș inteligent. Informațiile generate la nivel local, de către dispozitive, senzori sau echipamente din infrastructură urbană, sunt transmise către niveluri superioare ale rețelei, unde pot fi agregate, analizate și utilizate pentru coordonarea diferitelor servicii urbane. Este esențial ca interoperabilitatea și continuitatea comunicațiilor între aceste niveluri să fie asigurate în mod permanent și să funcționeze eficient. Orice întrerupere sau limitare a fluxului de date între nivelurile rețelei poate afecta funcționarea aplicațiilor și serviciilor inteligente ale orașului.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Tehnologii radio utilizate în infrastructurile de tip “Smart City”

- Dezvoltarea infrastructurilor de tip Smart City se bazează într-o mare măsură pe utilizarea tehnologiilor de comunicații radio, care permit interconectarea unui număr mare de dispozitive și sisteme distribuite în mediul urban. Conform studiilor și documentațiilor elaborate la nivel internațional de către Uniunea Internațională a Telecomunicațiilor (ITU), comunicațiile wireless reprezintă un element esențial al arhitecturii orașelor inteligente, deoarece facilitează transmiterea datelor între senzori, echipamente urbane, platforme de management și aplicațiile destinate utilizatorilor finali.
- În funcție de aria de acoperire, capacitatea de transmisie și tipul aplicațiilor deservite, mai multe tehnologii radio sunt utilizate în implementarea sistemelor Smart City. Printre cele mai frecvent întâlnite se numără rețelele locale wireless, precum Wi-Fi, rețelele de tip mesh utilizate pentru conectarea dispozitivelor distribuite, rețelele mobile celulare (GSM, 3G, 4G sau 5G) furnizate de operatorii de telecomunicații, precum și tehnologii dedicate comunicațiilor pentru Internet of Things (IoT), cum ar fi LoRaWAN sau NB-IoT.
- Aceste tehnologii sunt utilizate pentru a susține o gamă largă de aplicații urbane, inclusiv monitorizarea mediului, gestionarea traficului, sistemele de siguranță publică, managementul energiei sau controlul infrastructurilor urbane, cum ar fi sistemele de iluminat inteligent. Alegerea tehnologiei radio adecvate depinde de mai mulți factori, printre care distanța de comunicare, volumul de date transmis, consumul energetic al dispozitivelor și cerințele de fiabilitate ale aplicației.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Tehnologii radio utilizate în sistemele de tip “Smart Lighting”

- La nivelul pieței locale, implementarea sistemelor de telegestiune pentru iluminatul inteligent utilizează în principal câteva tehnologii radio consacrate, care oferă un echilibru între acoperire, fiabilitate și costuri de implementare. În practică, printre cele mai frecvent întâlnite soluții se regăsesc rețelele celulare de tip LTE sau NB-IoT, rețelele de tip LPWAN precum LoRa/LoRaWAN și rețelele radio de tip mesh, utilizate pentru interconectarea directă a aparatelor de iluminat sau a controlerelor instalate la nivelul acestora.
- Aceste tehnologii sunt utilizate pentru realizarea comunicațiilor dintre aparatele de iluminat, punctele de colectare a datelor și platformele centrale de management, permițând transmiterea comenzilor de control, monitorizarea parametrilor de funcționare și colectarea informațiilor privind consumul de energie sau starea echipamentelor. Prin intermediul acestor rețele radio, sistemele de iluminat pot fi gestionate de la distanță, fiind posibilă reglarea fluxului luminos, programarea funcționării sau identificarea rapidă a eventualelor defecțiuni.
- În acest context, tehnologiile LTE, LoRa și rețelele radio de tip mesh reprezintă unele dintre cele mai utilizate soluții de comunicație în implementarea sistemelor moderne de iluminat inteligent, fiind adoptate în numeroase proiecte de modernizare a infrastructurii de iluminat urban.

Tehnici de comunicare in comanda și controlul iluminatului

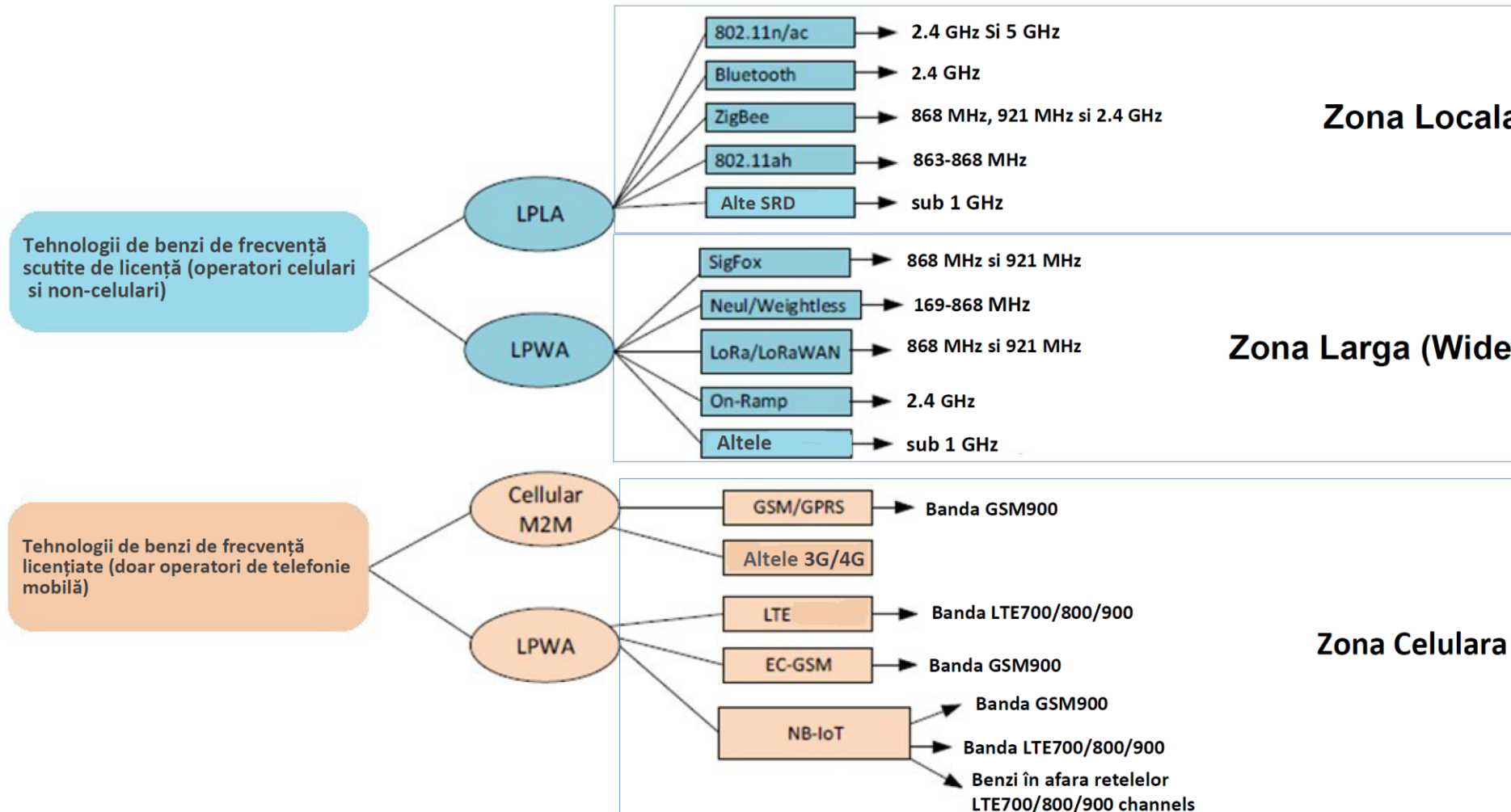
Rețele utilizate in sistemele de tip "Smart Lighting"

- In contextul tehnologiilor de comunicație utilizate în sistemele moderne de monitorizare și control la distanță (IoT/M2M), este necesară înțelegerea modului în care acestea sunt clasificate în funcție de banda de frecvență utilizată, aria de acoperire și tipul infrastructurii de comunicație. In practică, tehnologiile wireless pot funcționa fie în benzi de frecvență nelicențiate, destinate aplicațiilor locale sau rețelelor de senzori cu consum redus de energie, fie în benzi licențiate operate de rețelele celulare, care oferă acoperire extinsă și integrare cu infrastructura operatorilor telecom.
- În acest context, tehnologiile de comunicație utilizate în aplicațiile IoT pot fi grupate în trei categorii principale: rețele locale de mică putere (LP-LPA), rețele de tip LPWA pentru comunicații pe distanțe mari și rețele celulare dedicate comunicațiilor M2M. Fiecare dintre aceste categorii utilizează tehnologii și benzi de frecvență specifice, optimizate pentru diferite cerințe privind distanța de transmisie, consumul energetic, capacitatea de date și scalabilitatea rețelei.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Rețele utilizate în sistemele de tip "Smart Lighting"

- Clasificarea principalelor tehnologii de comunicație și benzile de frecvență asociate acestora sunt ilustrate în figura următoare:



Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

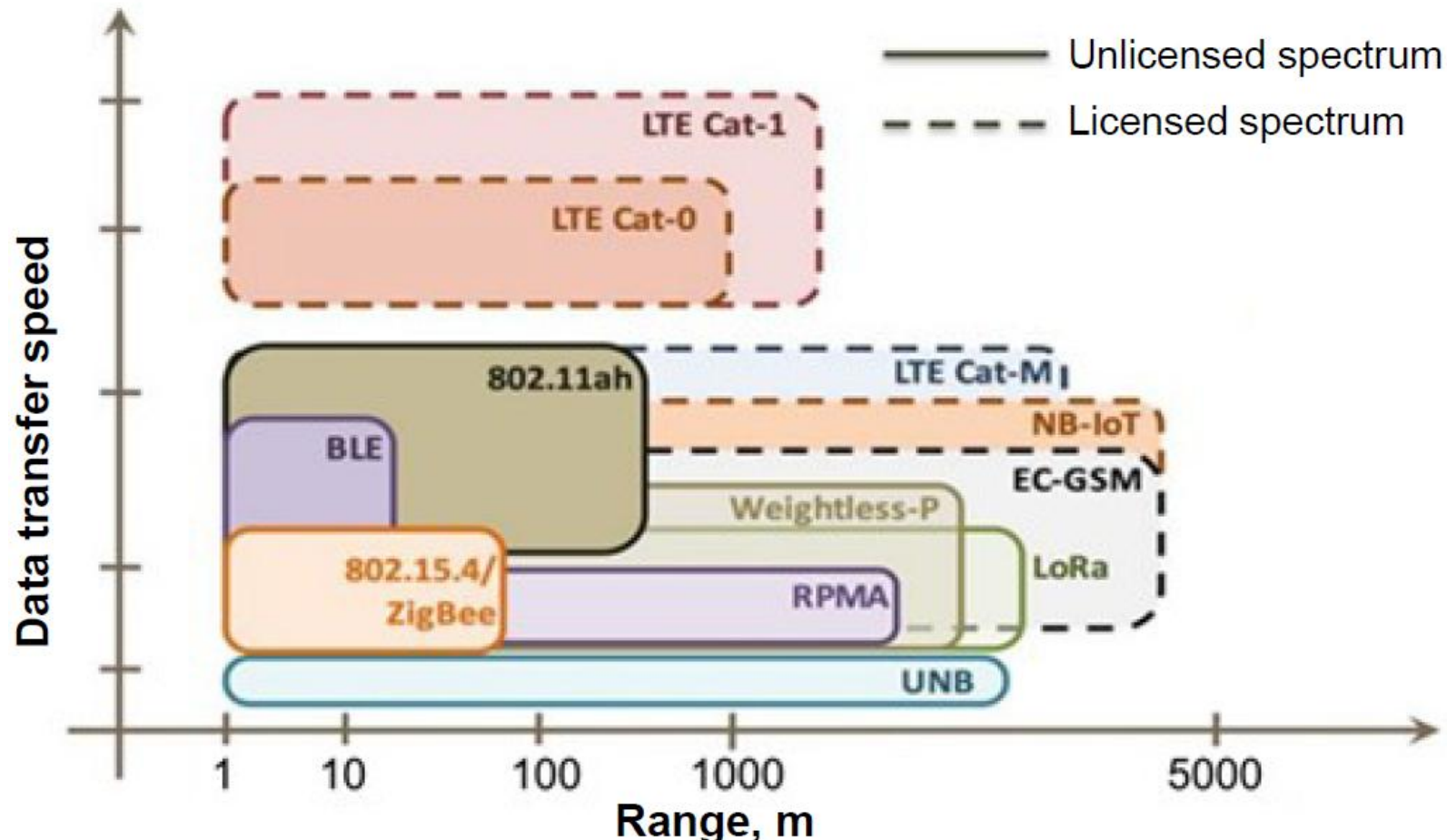
Rețele utilizate în sistemele de tip “Smart Lighting”

- Pentru a înțelege principalele diferențe funcționale dintre cele mai întâlnite tehnologii de comunicație utilizate în aplicațiile IoT și M2M, un aspect deosebit de important este rezultat între viteza de transfer a datelor și distanța de transmisie pe care o poate acoperi fiecare tehnologie. În general, tehnologiile wireless sunt proiectate astfel încât să optimizeze unul dintre acești parametri: fie rate mari de transfer pe distanțe scurte, fie acoperire mare cu consum energetic redus, dar cu viteze mai mici de transmisie.
- În același timp, aceste tehnologii operează fie în benzi de frecvență nelicențiate, utilizate în mod deschis de diverse dispozitive și aplicații, fie în benzi licențiate, administrate de operatorii de telecomunicații, care oferă o fiabilitate și un control mai ridicat asupra comunicațiilor.

Tehnici de comunicare in comanda și controlul iluminatului

Rețele utilizate in sistemele de tip "Smart Lighting"

- Mai jos putem vizualiza poziționarea comparativă a principalelor tehnologii de comunicație IoT în funcție de distanța de acoperire și viteza de transfer a datelor, evidențiind totodată diferența dintre tehnologiile care utilizează spectru licențiat și spectru nelicențiat.



Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Rețele celulare LTE

Rețelele celulare reprezintă una dintre primele soluții utilizate pentru realizarea comunicațiilor la distanță între echipamentele distribuite în mediul urban și platformele centrale de management. Aceste tehnologii se bazează pe infrastructura existentă a operatorilor de telecomunicații și permit transmiterea datelor prin intermediul rețelelor mobile.

Puncte forte:

- acoperire geografică extinsă datorită infrastructurii operatorilor telecom;
- infrastructură deja existentă, fără necesitatea instalării unor rețele radio proprii;
- nivel ridicat de securitate al comunicațiilor, implementat la nivelul rețelelor celulare;
- posibilitatea integrării cu alte servicii bazate pe rețele mobile.

Limitări și dezavantaje:

- dependența de infrastructura și serviciile unui operator de telecomunicații;
- costuri recurente asociate abonamentelor sau serviciilor de conectivitate;
- consum energetic relativ ridicat pentru echipamentele instalate în teren;
- dificultăți în implementarea unor funcționalități de tip rețea distribuită între aparatele de iluminat.

Aceste tehnologii sunt utilizate în special în scenarii în care fiecare punct de iluminat sau grup de puncte de iluminat comunică direct cu platforma centrală prin intermediul rețelei operatorului.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Tehnologii LPWAN (LoRa / LoRaWAN)

- Tehnologiile LPWAN (Low Power Wide Area Network), precum LoRaWAN, au fost dezvoltate pentru a permite conectarea unui număr mare de dispozitive IoT cu consum redus de energie pe distanțe mari. Aceste tehnologii sunt utilizate frecvent pentru aplicații de telemetrie, senzori urbani sau monitorizarea infrastructurilor.

Puncte forte:

- consum de energie redus al dispozitivelor;
- acoperire radio extinsă, de ordinul mai multor kilometri;
- posibilitatea conectării unui număr mare de dispozitive într-o singură rețea;
- costuri relativ reduse pentru dispozitivele terminale.

Limitări și dezavantaje:

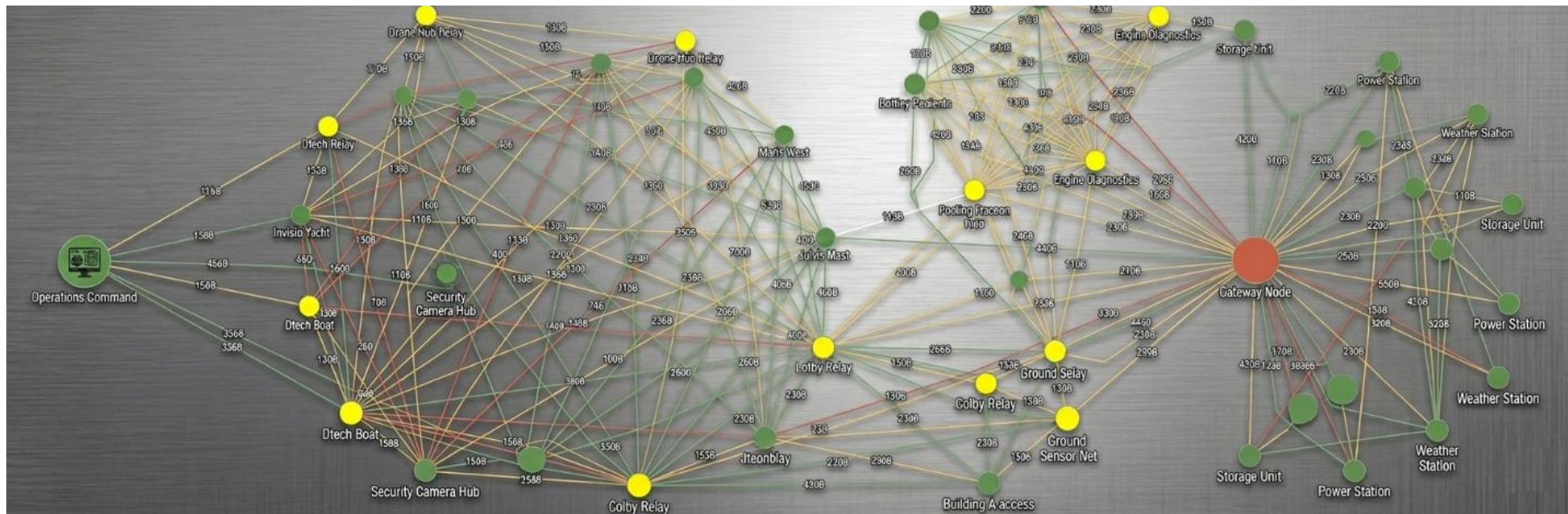
- capacitate redusă de transmisie a datelor;
- latență relativ mare a comunicațiilor;
- limitări privind frecvența transmiterii mesajelor;
- utilizarea predominantă în aplicații de monitorizare și telemetrie, mai puțin pentru sisteme cu control permanent sau în timp real.

Tehnologiile LPWAN sunt utilizate în principal pentru aplicații IoT urbane sau pentru monitorizarea infrastructurilor, însă pot prezenta limitări în scenariile în care este necesară o comunicare frecventă și un control rapid al echipamentelor.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Rețele radio de tip Mesh

- Rețelele radio de tip Mesh (Wireless Mesh Networks – WMN) reprezintă o evoluție a sistemelor moderne de comunicații utilizate pentru interconectarea dispozitivelor distribuite în mediul urban. Această tehnologie se bazează pe o arhitectură de comunicații distribuită, în care fiecare dispozitiv sau controler instalat la nivelul unui aparat de iluminat poate funcționa atât ca terminal de comunicație, cât și ca nod intermediar de retransmisie a informațiilor către alte noduri din rețea.
- Prin această abordare, aparatele de iluminat formează împreună o infrastructură de comunicații radio distribuită, capabilă să transmită datele către punctele de colectare sau către platforma centrală de management. În cadrul unei rețele Mesh, dispozitivele participante stabilesc legături wireless de tip peer-to-peer, iar informațiile pot fi transmise prin mai multe salturi succesive (multi-hop communication). Astfel, datele pot ajunge de la un nod sursă la un nod destinație prin intermediul altor noduri intermediare, fără a fi necesară existența unei infrastructuri centrale dedicate sau a unui punct unic de control.



Tehnici de comunicare in comanda și controlul iluminatului

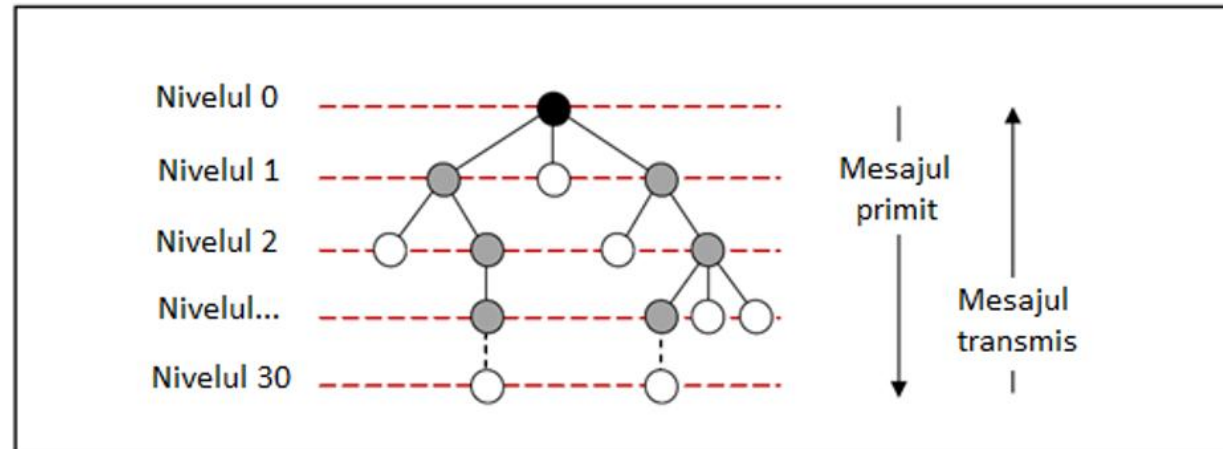
Rețele radio de tip Mesh

- În sistemele moderne de telegestiune a iluminatului public, controlerele instalate la nivelul fiecărui aparat de iluminat funcționează ca noduri ale rețelei radio. Aceste noduri au capacitatea de a transmite și recepționa informații, dar și de a retransmite mesajele către alte noduri din proximitate. În acest mod, rețeaua se extinde progresiv, iar fiecare nou dispozitiv integrat contribuie la consolidarea infrastructurii de comunicații.
- Un rol esențial în arhitectura rețelei îl au gateway-urile, care asigură interconectarea dintre rețeaua radio locală și platforma centrală de management. Gateway-urile colectează datele transmise de nodurile din rețeaua Mesh și le transmit către serverele centrale prin intermediul unor conexiuni IP, utilizând infrastructuri de comunicații precum rețele de fibră optică, Ethernet sau conexiuni celulare. Prin intermediul acestor puncte de acces, informațiile provenite din teren pot fi analizate, procesate și utilizate pentru controlul și monitorizarea sistemului de iluminat.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Rețele radio de tip Mesh

- Topologia Mesh cu eficiență maximă utilizează lățimii de bandă alocată, prin combinarea ratei de date suficiente pentru transmiterea datelor zilnice și fiabilitatea rețelei.
- Mesh este o topologie de rețea dinamică, unde căile de transmisie a datelor pot mereu să se schimbe, dar nodul rețelei este instalat staționar. Atunci când adăugați sau eliminați un nod din rețea va fi reconfigurat automat rețeaua. Topologia de rețea Mesh constă dintr-un coordonator de rețea și două tipuri de noduri de rețea cu funcția de rutare conectată și deconectată



- Funcțiile de coordonator al rețelei sunt realizate de concentrator. Acest dispozitiv este la cel mai înalt nivel a topologiei rețelei. Acesta poate comunica cu toate dispozitivele din rețeaua sa.
- Nodul de rețea cu funcție de rutare activată. Acest dispozitiv, acționează ca un intermediar între dispozitivele de rețea pentru a transfera date de la dispozitive distanțate de coordonatorul de rețea. Nodul de rețea poate fi la fel destinatarul final al datelor.
- Nod de rețea cu funcția de rutare dezactivată. Acesta este ultimul dispozitiv în topologie de rețea Mesh și este sursa sau beneficiarul final al datelor, dar cu funcția de rutare dezactivată. Fiecare dispozitiv a rețelei Mesh are propria adresă unică.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

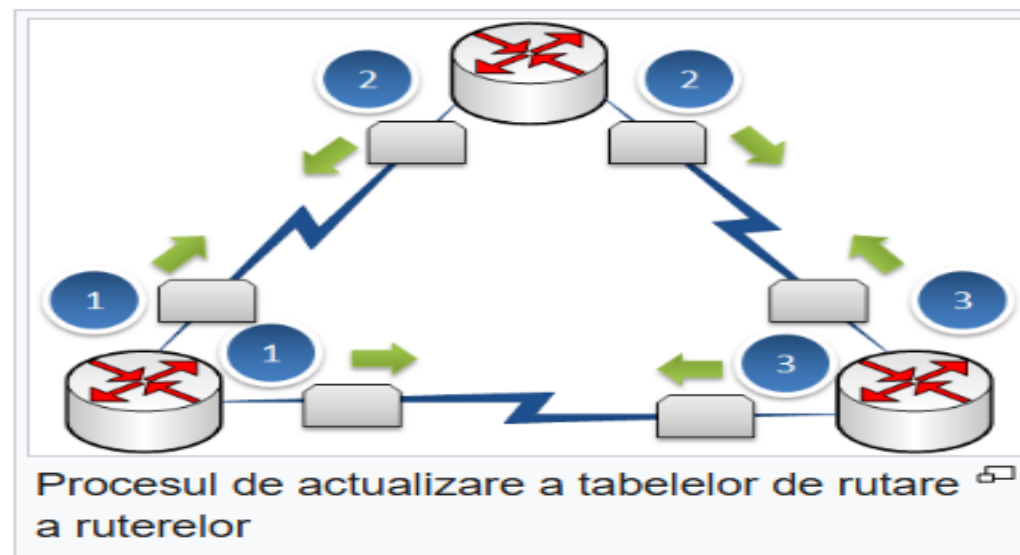
Rețele radio de tip Mesh

- Funcționarea rețelei RF Mesh se bazează pe mecanisme de rutare dinamică, care permit stabilirea automată a traseelor optime pentru transmiterea datelor între noduri. Această caracteristică permite existența mai multor rute alternative de comunicație între dispozitive și platforma centrală. În situația apariției unei defecțiuni sau a unei interferențe radio, algoritmi de rutare identifică automat o rută alternativă pentru transmiterea informațiilor, menținând funcționarea sistemului fără întreruperi semnificative. Această capacitate de auto-adaptare a rețelei este cunoscută sub denumirea de „self-healing”.
- Arhitectura distribuită a rețelelor Mesh conferă un nivel ridicat de fiabilitate și robustețe operațională. Deoarece funcționarea sistemului nu depinde de un singur element central, rețeaua poate continua să funcționeze chiar și în situația indisponibilității unor noduri. Această redundanță structurală contribuie la creșterea disponibilității comunicațiilor și la menținerea continuității serviciilor.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Rețele radio de tip Mesh

- Protocoalele de rutare adaptivă** determină cea mai bună cale de legătură (comunicare) pentru fiecare rețea, care este apoi adăugată în tabelul de rutare. Unul dintre beneficiile primare la utilizarea unui protocol de rutare adaptivă este faptul că schimbul de informații dintre rutere are loc ori de câte ori există o schimbare în topologie. Acest lucru permite ruterele de a *învăța* în mod automat despre apariția de noi rețele de legătură și, de asemenea, de a învăța să găsească căi alternative, atunci când există un eșec în rețeaua curentă (folosită). Este această capacitate și unul din motivele pentru care s-a dat numele de rutare adaptivă.



Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Rețele radio de tip Mesh

- Un alt aspect important îl reprezintă securitatea comunicațiilor. Sistemele moderne de comunicații Mesh includ mecanisme avansate de securitate cibernetică, precum criptarea comunicațiilor, autentificarea dispozitivelor și protecția datelor transmise în rețea. Aceste mecanisme contribuie la prevenirea accesului neautorizat și la protejarea infrastructurilor urbane critice.
- Rețelele Mesh oferă, de asemenea, o scalabilitate ridicată. Extinderea infrastructurii se poate realiza gradual, prin integrarea de noi noduri în rețeaua existentă, fără modificări majore ale arhitecturii sau instalarea unor infrastructuri suplimentare de comunicații. Această caracteristică permite dezvoltarea treptată a sistemelor de iluminat inteligent, pe măsură ce infrastructura urbană este modernizată.
- Progresele tehnologice recente în domeniul comunicațiilor wireless și al miniaturizării echipamentelor au permis dezvoltarea unor noduri Mesh compacte și eficiente energetic. În unele implementări moderne, dispozitivele pot avea dimensiuni reduse și consum energetic scăzut, ceea ce facilitează integrarea lor direct în echipamentele urbane, inclusiv în controlerele instalate la nivelul aparatelor de iluminat.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Rețele radio de tip Mesh

- Datorită caracteristicilor lor de auto-organizare, redundanță și flexibilitate operațională, rețelele Mesh sunt utilizate în numeroase domenii critice, inclusiv în sisteme de comandă și control, managementul situațiilor de urgență, comunicații tactice sau protecția infrastructurilor critice. În aceste contexte, ele pot asigura continuitatea comunicațiilor chiar și în situații în care infrastructura tradițională de telecomunicații devine indisponibilă.
- În domeniul iluminatului inteligent, aceste caracteristici fac ca tehnologia RF Mesh să fie una dintre cele mai potrivite soluții pentru realizarea sistemelor de telegestiune. Rețeaua permite controlul individual al aparatelor de iluminat, monitorizarea continuă a stării echipamentelor și integrarea infrastructurii de iluminat în platformele urbane de tip Smart City.
- Prin urmare, în contextul cerințelor specifice infrastructurilor urbane moderne – fiabilitate ridicată, securitate cibernetică, capacitate de extindere și independență operațională – tehnologia radio de tip Mesh reprezintă una dintre cele mai robuste și eficiente soluții pentru realizarea sistemelor de control și management al iluminatului inteligent.

Tehnici de comunicare in comanda și controlul iluminatului

Rețele radio de tip Mesh

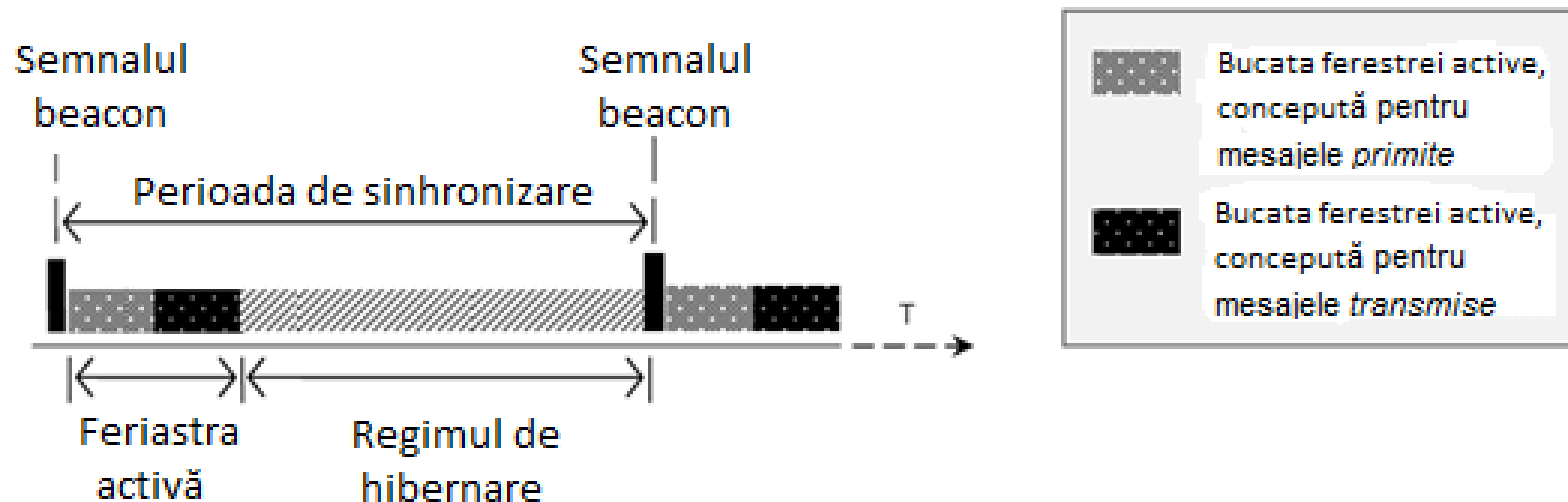
Metoda de acces la canalul de transfer de date.

Pentru a maximiza utilizarea lățimii benzilor a frecvențelor, în topologie de rețea Mesh se folosește separarea temporal de transfer a datelor și sincronizare în timp.

Funcționarea tuturor dispozitivelor de rețea Mesh este sincronizat cu ajutorul unui semnal (beacon). Acest semnal este emis de nodurile rețelei periodic cu funcția de rutare activată, care poate fi master pentru un grup de dispozitive.

Semnalul beacon conține informații despre numărul de nivel al rețelei, numărul de identificare a rețelei, MAC – adresa master-ului său formativ, precum și unele date suplimentare.

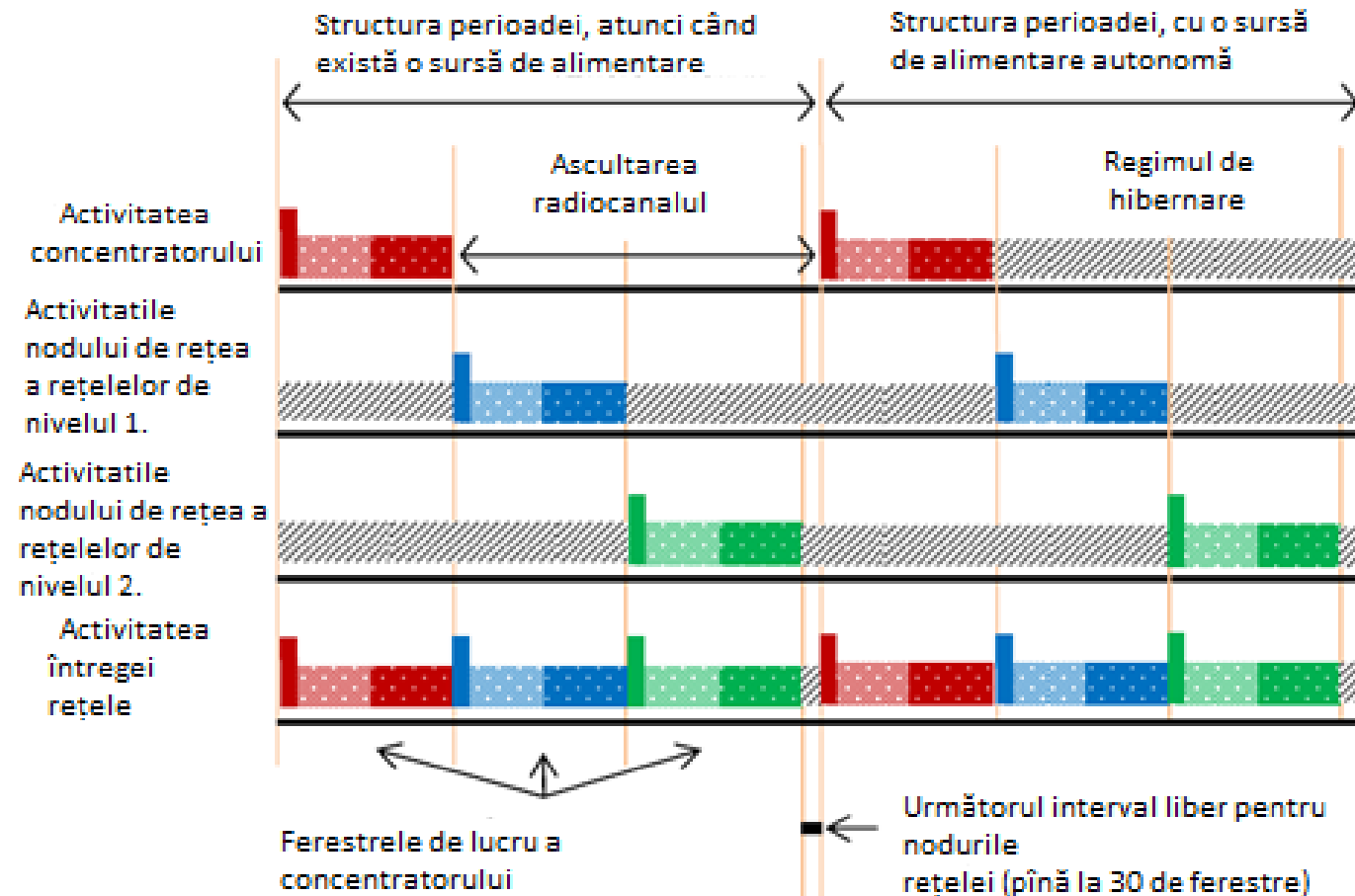
Îndată după semnalul beacon urmează fereastra de lucru (Local Frame), a căror durată este compusă din două părți principale. Prima parte este rezervată pentru transmiterea pachetelor de date a mesajelor primite, al doilea – de ieșire. Durata ferestrei de lucru este variabilă.



Tehnici de comunicare in comanda și controlul iluminatului

Rețele radio de tip Mesh

În pauzele dintre semnalele beacon, in ferestre de lucru, dispozitivele de rețea se află în regimul de hibernare. Dacă un dispozitiv nu reușește să transmită/primească în timpul unei ferestre de lucru, atunci acest întreg proces este împărțit în mai multe ferestre de lucru.



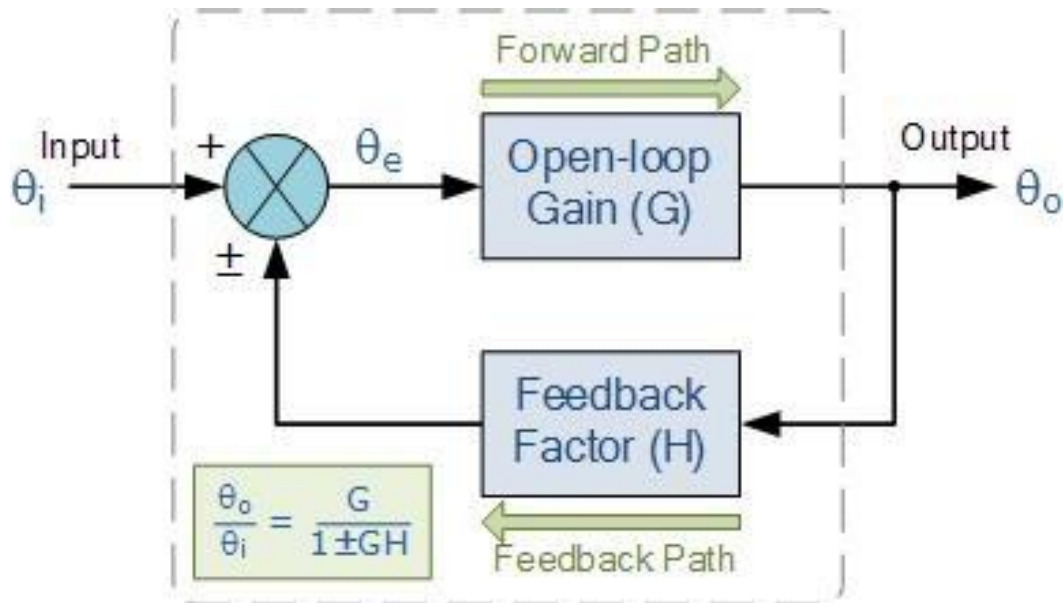
Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Rolul sistemelor cu “reacție negativă” în comanda și controlul infrastructurilor inteligente

- În numeroase sisteme tehnice moderne, funcționarea echipamentelor și a infrastructurilor complexe se bazează pe mecanisme de control automat care permit adaptarea continuă a sistemului la condițiile reale de funcționare. Un rol esențial în realizarea acestui tip de control îl are conceptul de reacție sau feedback, prin intermediul căruia informațiile generate de sistem sunt utilizate pentru a influența și ajusta modul în care acesta operează. Prin intermediul mecanismelor de feedback, rezultatele produse de sistem sunt monitorizate și comparate cu valorile dorite sau cu parametrii de funcționare prestabiliți. În situația în care sunt identificate diferențe între rezultatul real și cel așteptat, sistemul poate interveni prin transmiterea unor comenzi de corecție către echipamentele implicate, astfel încât funcționarea acestora să fie readusă în limitele dorite.
- Acest principiu este utilizat pe scară largă în domeniul automatizărilor, al sistemelor industriale, al infrastructurilor energetice și, în mod tot mai frecvent, în cadrul sistemelor urbane inteligente. Prin implementarea mecanismelor de feedback, sistemele devin capabile să se autoregleze, să mențină stabilitatea funcționării și să răspundă eficient la variațiile mediului sau la modificările condițiilor de operare.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Rolul sistemelor cu “reacție negativă” în comanda și controlul infrastructurilor inteligente



Model de diagramă bloc a unui sistem cu feedback

Această buclă de feedback de detectare, control și acționare este conceptul principal al unui sistem de control cu feedback și există mai multe motive pentru care feedbackul este aplicat și utilizat în circuitele electronice:

- Caracteristicile circuitului, cum ar fi câștigul și răspunsul sistemelor, pot fi controlate cu precizie.
- Caracteristicile circuitului pot fi efectuate independent de condițiile de operare, cum ar fi variațiile tensiunii de alimentare sau de temperatură.
- Distorsiunea semnalului datorată caracterului nelinier al componentelor utilizate poate fi redusă foarte mult.

Răspunsul în frecvență, câștigul și lățimea de bandă a unui circuit sau a unui sistem pot fi controlate ușor în limite strânse

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

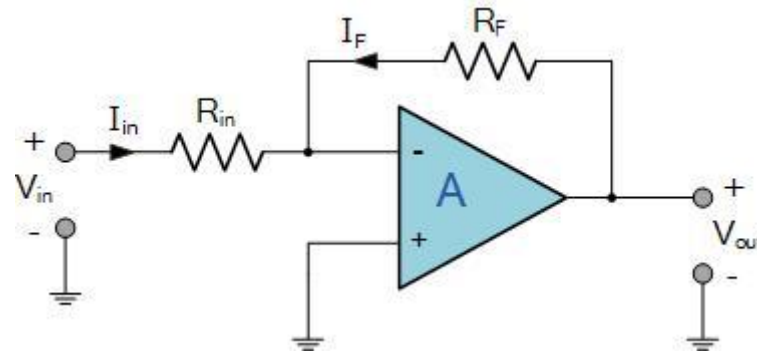
Rolul sistemelor cu “reacție negativă” în comanda și controlul infrastructurilor inteligente

- Într-un "sistem de control cu feedback negativ", valoarea punctului de referință și valoarea de ieșire sunt scăzute una din cealaltă deoarece feedback-ul este "defazat" cu intrarea inițială.
- Deoarece feedback-ul negativ produce răspunsuri de circuit stabile, îmbunătățește stabilitatea și mărește lățimea de bandă de operare a unui sistem dat, majoritatea sistemelor de control și cu feedback sunt degenerative, reducând efectele câștigului.
- Utilizarea **feedback-ului negativ** în sistemele de control al diverselor procese este larg răspândită deoarece, de regulă, sistemele cu feedback negativ sunt mai stabile decât sistemele cu feedback pozitiv
- Un alt avantaj este faptul că feedback-ul negativ face ca sistemele de control să fie mai imune la variațiile aleatorii ale valorilor și intrărilor lor.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Rolul sistemelor cu "reacție negativă" în comanda și controlul infrastructurilor inteligente

- Un exemplu de sistem de feedback negativ este un amplificator electronic bazat pe un **A.O.** (amplificator operațional) așa cum este arătat.



- Controlul cu feedback negativ al amplificatorului este realizat prin aplicarea unei mici părți a semnalului de tensiune de ieșire la V_{out} înapoi la terminalul de intrare inversor (-) prin intermediul rezistorului de reacție R_F
- Așadar putem vedea că tensiunea de ieșire este stabilizată și controlată de feedback, deoarece cu bucle negative de feedback "mai mult conduce la mai puțin" și "mai puțin conduce la mai mult".

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Rolul sistemelor cu “reacție negativă” în comanda și controlul infrastructurilor inteligente

- În funcție de modul în care informațiile provenite de la ieșirea sistemului sunt utilizate pentru ajustarea comportamentului acestuia, reacțiile pot fi clasificate în două categorii principale: reacție negativă și reacție pozitivă. Dintre acestea, reacția negativă este cea mai frecvent utilizată în sistemele tehnice, deoarece contribuie la stabilizarea și optimizarea funcționării sistemelor controlate. În cadrul infrastructurilor urbane inteligente, conceptul de reacție negativă reprezintă un principiu fundamental în proiectarea sistemelor moderne de control. Un grup de sistem cu reacție negativă utilizează informațiile provenite de la ieșirea sistemului pentru a ajusta sau corecta comportamentul acestuia, astfel încât rezultatul obținut să se apropie cât mai mult de valoarea dorită sau de parametrii de funcționare stabiliți. În astfel de sisteme, datele generate de echipamentele din teren – cum ar fi controlerele instalate la nivelul aparatelor de iluminat, senzorii de lumină ambientală sau sistemele de monitorizare a consumului energetic – sunt transmise către platforma centrală de control prin intermediul rețelelor de comunicații. Informațiile colectate sunt analizate și comparate cu parametrii de funcționare definiți în sistem, iar eventualele deviații sunt corectate prin transmiterea unor comenzi de ajustare către echipamentele din teren.
- Aplicarea principiului reacției negative permite realizarea unui mecanism continuu de reglare și optimizare a funcționării sistemului. De exemplu, în cazul iluminatului inteligent, nivelul de iluminare sau programul de funcționare al aparatelor poate fi ajustat automat în funcție de condițiile reale din teren, cum ar fi variațiile luminii naturale, intensitatea traficului sau cerințele energetice ale sistemului.
- Prin integrarea acestor mecanisme de reacție negativă în arhitectura sistemelor de control și comunicații, infrastructurile urbane inteligente pot funcționa într-un mod mai stabil, mai eficient și mai adaptabil.
- **În acest context, rețelele de comunicații distribuite, precum cele de tip RF Mesh, joacă un rol esențial, deoarece permit transmiterea rapidă și fiabilă a informațiilor între dispozitivele din teren și platformele centrale de management, asigurând astfel funcționarea eficientă a buclelor de control și a proceselor de optimizare a sistemului.**

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Principalele beneficii ale utilizării rețelelor RF Mesh în sistemele de tip “smart lighting”

- Pe baza analizelor prezentate anterior, precum și a principiilor descrise în literatura tehnică internațională și în documentele de referință privind infrastructurile pentru orașe inteligente, rețelele radio de tip Mesh oferă o serie de avantaje semnificative pentru implementarea sistemelor moderne de control și management al iluminatului.
- Aceste beneficii derivă în principal din arhitectura distribuită a rețelei, din mecanismele de rutare dinamică și din capacitatea sistemului de a se adapta automat la condițiile reale de funcționare. Un aspect important îl reprezintă faptul că infrastructurile Smart City presupun, în mod natural, existența unui număr mare de sisteme și echipamente care utilizează comunicații radio: senzori urbani, sisteme de monitorizare a traficului, rețele IoT, sisteme de supraveghere video, platforme de telemetrie sau sisteme de iluminat inteligent. Într-un astfel de mediu urban dens, caracterizat printr-o utilizare intensă a spectrului radio și printr-un număr ridicat de dispozitive conectate, este necesară utilizarea unor tehnologii de comunicații capabile să funcționeze robust și adaptiv în condiții de interferențe și congestie radio.
- În acest context, rețelele radio de tip Mesh se dovedesc deosebit de potrivite pentru implementarea infrastructurilor de iluminat inteligent în mediile urbane aglomerate din punct de vedere al rețelelor radio. Datorită mecanismelor de rutare distribuită și a capacității de adaptare dinamică a traseelor de comunicație, aceste rețele pot menține conectivitatea chiar și în condițiile în care anumite legături radio devin indisponibile sau sunt afectate de interferențe generate de alte sisteme wireless.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Principalele beneficii ale utilizării rețelelor RF Mesh în sistemele de tip “smart lighting”

Principalele beneficii ale utilizării tehnologiei RF Mesh:

- **Fiabilitate ridicată a comunicațiilor.** Rețelele Mesh permit transmiterea datelor prin multiple rute alternative între noduri, ceea ce reduce semnificativ riscul întreruperii comunicațiilor. În cazul indisponibilității unui nod sau al unei legături radio, sistemul identifică automat o rută alternativă pentru transmiterea informațiilor.
- **Arhitectură distribuită fără punct unic de defect.** Spre deosebire de alte topologii de rețea, rețelele Mesh nu depind de un element central unic pentru funcționare, eliminând astfel riscul apariției unui punct unic de defect (single point of failure).
- **Capacitate de auto-organizare și auto-configurare.** Nodurile din rețea pot identifica automat alte dispozitive din proximitate și pot stabili conexiuni fără intervenții complexe de configurare manuală, facilitând implementarea și extinderea infrastructurii.
- **Mecanisme de auto-reparare (self-healing).** În cazul apariției unor perturbări sau defecțiuni, rețeaua își poate reconfigura automat traseele de comunicație, menținând funcționarea sistemului fără întreruperi semnificative.
- **Scalabilitate ridicată a rețelei.** Rețelele Mesh permit integrarea treptată a unui număr mare de dispozitive, fără a necesita modificări majore ale infrastructurii existente. Fiecare nod nou instalat contribuie la extinderea ariei de acoperire și la consolidarea rețelei.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Principalele beneficii ale utilizării rețelelor RF Mesh în sistemele de tip “smart lighting”

- **Extinderea naturală a ariei de acoperire radio.** Prin utilizarea comunicațiilor de tip multi-hop, semnalul radio poate fi retransmis între noduri, permițând extinderea acoperirii fără instalarea unor infrastructuri suplimentare de comunicații.
- **Reducerea costurilor de infrastructură și operare.** Rețelele Mesh pot funcționa independent de infrastructuri comerciale de comunicații, precum rețelele celulare, eliminând necesitatea unor abonamente recurente și reducând costurile operaționale pe termen lung.
- **Nivel ridicat de securitate cibernetică.** Implementările moderne de rețele Mesh includ mecanisme avansate de criptare, autentificare și control al accesului, contribuind la protejarea infrastructurilor urbane și la prevenirea accesului neautorizat.
- **Integrare facilă în ecosistemele Smart City.** Datorită arhitecturii distribuite și a capacității de interconectare cu platforme IoT sau sisteme de management urban, rețelele Mesh pot fi integrate cu ușurință în infrastructurile digitale ale orașelor inteligente.
- **Suport pentru mecanisme de control și optimizare bazate pe feedback.** Rețelele Mesh facilitează transmiterea rapidă și fiabilă a datelor între echipamentele din teren și platformele de control, permițând implementarea mecanismelor de reacție negativă și optimizarea funcționării sistemelor de iluminat inteligent în timp real.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Utilizarea benzii de frecvență 2.4 GHz pentru colectarea rapidă a datelor și analiza în timp real în sistemele Smart City

- În cadrul infrastructurilor moderne de tip Smart City, capacitatea de colectare, transmitere și analiză rapidă a datelor provenite din teren reprezintă un element esențial pentru funcționarea eficientă a sistemelor urbane inteligente. Dispozitivele instalate în mediul urban – precum controlerile aparatelor de iluminat, senzorii de mediu, sistemele de monitorizare a traficului sau alte echipamente IoT – generează permanent informații care trebuie colectate și transmise către platformele de analiză și management. Utilizarea rețelelor RF Mesh care operează în banda de frecvență de 2.4 GHz oferă avantaje importante în ceea ce privește viteza de transmisie a datelor și latența redusă a comunicațiilor. Această bandă de frecvență permite utilizarea unor tehnologii radio moderne capabile să susțină schimburi frecvente de date între dispozitivele din teren și punctele de colectare a informațiilor, facilitând transmiterea rapidă a datelor către platformele centrale sau către infrastructurile de tip cloud.
- În arhitecturile Smart City descrise în literatura tehnică și în documentele internaționale de referință, colectarea datelor din teren reprezintă primul pas în procesul de analiză și optimizare a serviciilor urbane. Datele provenite de la senzori și echipamente inteligente sunt agregate la nivelul rețelei de comunicații și transmise către platformele de analiză, unde pot fi procesate utilizând algoritmi de analiză avansată, inteligență artificială sau sisteme de management urban.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Utilizarea benzii de frecvență 2.4 GHz pentru colectarea rapidă a datelor și analiza în timp real în sistemele Smart City

- Pentru ca acest proces să funcționeze eficient, este necesar ca transmiterea informațiilor din teren către platformele de analiză să se realizeze într-un interval de timp cât mai scurt. Latența redusă a comunicațiilor permite actualizarea rapidă a datelor și facilitează luarea deciziilor operaționale aproape în timp real.
- Un alt aspect important îl reprezintă securitatea datelor transmise. În contextul infrastructurilor urbane inteligente, datele colectate din teren pot avea un caracter sensibil sau pot influența funcționarea unor servicii critice ale orașului. Prin utilizarea unor tehnologii moderne de comunicații radio și a mecanismelor de securitate asociate acestora – precum criptarea comunicațiilor, autentificarea dispozitivelor și controlul accesului în rețea – sistemele asigură un nivel ridicat de protecție a informațiilor și pot preveni accesul neautorizat la infrastructurile de control. Utilizarea rețelelor RF Mesh în banda de frecvență 2.4 GHz permite realizarea unei infrastructuri de comunicații capabile să susțină colectarea rapidă a datelor din teren, transmiterea acestora către platformele de analiză și luarea deciziilor într-un interval scurt de timp. Aceste caracteristici contribuie la funcționarea eficientă, sigură și adaptabilă a sistemelor urbane inteligente, în care analiza continuă a datelor reprezintă un element central al proceselor de management și optimizare a serviciilor urbane.

Tehnici de comunicare in comanda și controlul iluminatului

Concluzii

Analiza documentațiilor tehnice internaționale privind infrastructurile unui Smart City evidențiază faptul că rețelele de comunicații radio reprezintă una dintre componentele esențiale ale arhitecturilor urbane moderne. Aceste rețele permit interconectarea unui număr mare de dispozitive distribuite în mediul urban și facilitează transmiterea continuă a datelor provenite din teren către platformele de management și analiză. În acest context, evaluarea tehnologiilor radio utilizate în infrastructurile urbane inteligente trebuie realizată pe baza unor criterii tehnice relevante, precum **costul de implementare, flexibilitatea sistemului, scalabilitatea rețelei, securitatea comunicațiilor și fiabilitatea operațională.**

- **Costul de implementare și operare.** În cazul infrastructurilor urbane extinse, costurile asociate instalării și operării rețelelor de comunicații pot influența semnificativ sustenabilitatea proiectelor Smart City. Soluțiile bazate pe rețele radio distribuite permit reducerea investițiilor în infrastructură fizică și pot funcționa independent de rețele comerciale de telecomunicații, contribuind astfel la reducerea costurilor operaționale pe termen lung.
- **Flexibilitatea sistemului.** Infrastructurile urbane inteligente sunt caracterizate printr-un grad ridicat de dinamică, fiind necesară integrarea continuă a unor noi echipamente, senzori sau aplicații digitale. Tehnologiile de comunicații utilizate trebuie să permită adaptarea rapidă la aceste evoluții și să faciliteze integrarea unor noi dispozitive fără modificări majore ale infrastructurii existente.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Concluzii

- **Scalabilitatea rețelei** reprezintă, de asemenea, un factor esențial în evaluarea tehnologiilor radio utilizate în mediile urbane. Pe măsură ce orașele inteligente se dezvoltă, numărul dispozitivelor conectate crește semnificativ, iar rețelele de comunicații trebuie să fie capabile să gestioneze un volum tot mai mare de noduri și fluxuri de date. Soluțiile de comunicații care permit extinderea graduală a infrastructurii, fără limitări majore privind numărul de dispozitive conectate, oferă avantaje importante în acest context.
- **Securitatea comunicațiilor**. În cadrul infrastructurilor Smart City, rețelele de comunicații transportă informații provenite din sisteme critice ale orașului, precum infrastructuri energetice, sisteme de transport sau sisteme de iluminat public. Prin urmare, este esențial ca tehnologiile utilizate să includă mecanisme robuste de securitate cibernetică, precum criptarea comunicațiilor, autentificarea dispozitivelor și controlul accesului la rețea.
- **Fiabilitatea și reziliența operațională** reprezintă elemente determinante pentru funcționarea infrastructurilor urbane inteligente. Rețelele de comunicații trebuie să fie capabile să mențină conectivitatea între dispozitive chiar și în condiții de perturbări radio, defecțiuni ale echipamentelor sau modificări ale topologiei rețelei.

Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului

Concluzii

Concluzie finală: tehnologiile radio de tip Mesh oferă o serie de avantaje semnificative în raport cu aceste criterii. Datorită arhitecturii distribuite și a mecanismelor de rutare dinamică, rețelele Mesh permit realizarea unor infrastructuri de comunicații flexibile și scalabile, capabile să se adapteze automat la modificările apărute în rețea. Capacitatea de auto-organizare și de auto-reconfigurare a traseelor de comunicație contribuie la creșterea fiabilității și la menținerea conectivității chiar și în condițiile apariției unor defecțiuni locale.

De asemenea, independența față de infrastructuri centralizate și posibilitatea utilizării unor mecanisme moderne de securitate contribuie la creșterea nivelului de protecție a sistemelor urbane conectate. Prin urmare, în raport cu criteriile analizate – cost, flexibilitate, scalabilitate, securitate și fiabilitate – tehnologia radio de tip Mesh reprezintă o soluție adecvată pentru dezvoltarea infrastructurilor de comunicații utilizate în sistemele de iluminat inteligent și, în general, în ecosistemele Smart City.

Bibliografie:

- <https://www.iwavecomms.com/ro/news/what-is-a-mesh-network-and-how-does-it-work/>
- - International Telecommunication Union (ITU)- Shaping Smarter and More Sustainable Cities: Striving for Sustainable Development Goals. ITU-T Focus Group on Smart Sustainable Cities (FG-SSC), Geneva.
- - International Telecommunication Union (ITU)- Implementing ITU-T International Standards to Shape Smart Sustainable Cities – The Case of Singapore. ITU-T Focus Group on Smart Sustainable Cities, Geneva.
- - International Telecommunication Union (ITU): Smart Sustainable Cities – ICT Architecture and Framework. ITU-T FG-SSC Technical Report.
- - International Telecommunication Union (ITU): Use of Frequency Range 1 350 MHz – 43.5 GHz. Radiocommunication Handbook Series, ITU.