

Comparative analysis of communication protocols and routing algorithms used in street lighting control systems

Alexandru LAVRIC, Valentin POPA

Abstract—Increasing the efficiency and automation of lighting control systems is a very topical issue that has been addressed by several research centres. Technological progress has led to the implementation of lighting control systems that replace the traditional one in order to determine savings facilitate maintenance and improve lighting quality. This paper proposes a comparative analysis of protocols that can be used in lighting control systems and routing algorithms. WSN (ZigBee, JenNet, IEEE 802.15.4) and routing algorithms that use geographic position provides the highest possible level of performance and can be integrated in a street lighting control system.

Index Terms—JenNet, lighting control, PLC, routing, wireless sensor networks, ZigBee

I. INTRODUCERE

REDUCEREA consumului de energie și protecția mediului înconjurător au devenit probleme de actualitate. Iluminatul urmărește satisfacerea unor cerințe ale comunităților locale cum ar fi: creșterea confortului și a calității vieții, creșterea gradului de securitate, creșterea siguranței circulației rutiere și pietonale și nu în ultimul rând punerea în valoare a aspectului arhitectonic al clădirilor și a peisajului.

Iluminatul este necesar să fie dotat cu echipamente care să asigure: aprinderea/stingerea în funcție de starea de iluminare locală sau în funcție de un orar prestabilit, semnalizarea apariției unor defecte, transmiterea de la distanță a comenzii de aprindere/stingere și cunoașterea consumurilor energetice dintr-un punct central aflat la distanță de lampă.

Aceste echipamente pot fi: un ceas programator care stabilește intervalul de funcționare a lămpii, o celulă fotoelectrică pentru aprinderea/stingerea lămpilor în funcție de iluminatul natural și WSN care să asigure comunicația la distanță.

De cele mai multe ori comanda lămpilor (on-off) în funcție de ora zilei nu este suficientă fiind de cele mai multe ori inflexibilă. Astfel pentru o eficiență maximă trebuie luați în considerare și alți factori cum ar fi: nivelul de luminozitate din mediul înconjurător și traficul auto și pietonal din zona respectivă. Luând în considerare acești factori un astfel de sistem trebuie să asigure și o dozare corectă a luminozității astfel încât circulația să se desfășoare în condiții de maximă

siguranță determinând și un consum optim de energie. Un iluminat adecvat are drept consecință atât reducerea accidentelor și a criminalității cât și sporirea confortului. Sistemele tradiționale de control ale lămpilor au în componență celule fotoelectrice care datorită depunerilor de impurități, instalării defectuoase sau a decalibrării pot să nu funcționeze corect determinând compromiterea întregului sistem de iluminat. Obiectivul acestei lucrări vizează analiza comparativă a protocoalelor și a algoritmilor de rutare care pot fi utilizați în cadrul sistemelor de control al iluminatului.

II. SISTEME DE CONTROL AL ILUMINATULUI

Sistemele proiectate până în momentul de față propun transmisia informațiilor pentru comunicațiile locale prin PLC (Power Line Communications) având ca mediu de transmisie cablurile electrice deja instalate sau wireless folosind standarde ca IEEE 802.15.4, ZigBee [1] și 6LoWPAN. În cazul controlului iluminatului stradal distanța dintre stâlpii de iluminat este în jur de 50 metri. Orice protocol de comunicații care poate adresa zeci de controlere și poate asigura un transfer de date optim la o distanță de 50 m poate fi considerat un candidat util pentru controlul automat al iluminatului. Prin proiectarea unui sistem de control al iluminatului utilizând standardul IEEE 802.15.4 din care fac parte și protocoalele de comunicație ZigBee și JenNet [2], fiecare lampă este integrată într-o rețea elaborată și sofisticată devenind astfel un nod. În ceea ce privește comunicația locală rămâne de stabilit care este cea mai potrivită tehnologie, luând în considerare factori cum ar fi costurile, avantajele și dezavantajele fiecărui protocol de comunicație.

III. PROTOCOALE DE COMUNICAȚII UTILIZATE ÎN CADRUL SISTEMELOR DE CONTROL AL ILUMINATULUI

O variantă de proiectare a unui sistem de control automat al iluminatului ar putea fi considerată integrarea unui transceiver compatibil cu standardul IEEE 802.15.4 în releul folosit pentru comanda lămpilor, fiecare dispozitiv devenind un nod dintr-o rețea wireless care acoperă orașul. [3] Sistemul presupune existența unui număr mare de dispozitive instalate într-o arie geografică mare. Adăugarea de capabilități de comunicație acestor dispozitive implică crearea unor topologii

de rețea complicate. Datorită condițiilor de LOS (Line-of-Sight) limitate, datorită existenței obstacolelor este necesară implementarea rețelei într-o topologie care să asigure o performanță ridicată. De asemenea aplicația se poate construi apelând la un standard deja definit ca DALI, ZigBee, 6LoWPAN sau JenNet. În figura 1 avem prezentat protocolul de comunicație JenNet care definește nivelul rețea NWK și aplicație APL peste nivelul MAC și fizic al modelului OSI (Open Systems Interconnections) implementate de standardul IEEE 802.15.4.

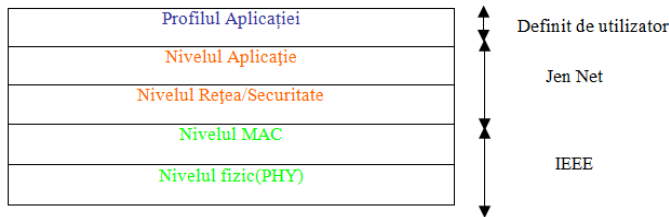


Fig.1. Protocolul de comunicație JenNet.

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) este un standard adoptat de IEC (International Electrotechnical Commission) pentru controlul circuitelor balast folosite în comanda lămpilor folosite în iluminatul stradal. Acesta descrie protocolul de comunicare și interfața electrică pentru comanda rețelelor de iluminat. O rețea DALI este compusă dintr-un controler și unul sau mai multe dispozitive de iluminat (de exemplu, balasturi, electrice și dimmere) care au interfețe DALI. Controlerul poate monitoriza și controla fiecare nod printr-un schimb de date bidirecțional. Protocolul DALI permite dispozitivelor să fie abordate în mod individual sau în grup. [4] Acesta are o aplicabilitate limitată datorită numărului restrâns de noduri pe care le poate comanda (în număr de 64) și deci nu poate fi considerat un candidat pentru controlul iluminatului stradal care poate avea în componență mii de noduri. Pe de altă parte rețelele care au în componență senzori pot avea în componență până la 65000 de noduri. Stiva de comunicație JenNet a fost creată pentru rețelele wireless concentrându-se pe low-cost, consum redus de energie și transfer scăzut de date cu mare fiabilitate. Deși schemele de rutare sunt fiabile capabilitățile geografice ale acestora sunt limitate, iar pentru îmbunătățirea acestora trebuie făcute anumite modificări. O posibilă abordare ar putea fi considerată utilizarea informațiilor GPS (Global Positioning System) la instalarea nodurilor deoarece acestea sunt fixe.

O altă variantă de implementare a nivelului rețea NWK ar putea fi folosirea protocolului 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks) care presupune adaptarea protocolului IPv6 la standardul IEEE 802.15.4. 6LoWPAN are aceleași cerințe în materie de consum și preț redus, transfer de date la viteze mici (maxim 250kbps) introducând capabilitățile unei conexiuni la internet. [3] Deoarece lungimea payload-ul suportat în IPv6 (Internet Protocol) este prea mare 6LoWPAN propune un nivel de

adaptare care conectează nivelul rețea NWK la nivelul MAC prin compresie, fragmentare și reasamblare. După o analiză mai atentă observăm că protocoalele de rutare prezintă anumite neajunsuri în ceea ce privește întârzierea pachetelor fapt care poate duce la scăderea dramatică a performanței rețelei. Protocolul 6LoWPAN nu definește nici o schemă de rutare aceasta rămânând deschisă implementării de către utilizator. Avantajul utilizării protocolului 6LoWPAN este acela că modalitatea de transmisie a informațiilor pe distanțe mari se poate realiza folosind rețeaua cablată sau wireless.

În continuare avem prezentată o comparație între modalitatea de comunicație folosind rețelele de senzori (WSN) și PLC, punând în evidență avantajele și dezavantajele fiecărei tehnologii.

TABELUL I: COMPARAȚIE WSN VS. PLC

	WSN	PLC
Avantaje	• costul dispozitivelor mai mic decât în cazul PLC; • în eventualitatea în care un nod al rețelei se defectează nu este afectată integritatea și performanța rețelei; • WSN ar putea fi considerate o variantă mai bună pentru implementarea în zonele rurale unde comunicația wireless nu este afectată de interferențe datorită mediului congestionat; • posibilitatea de integrare a unui număr mare de noduri (peste 500); • rețeaua poate fi extinsă rapid și facil;	• nu sunt obstacole în calea de comunicații; • nu necesită instalarea de conductoare suplimentare; • PLC ar putea fi considerată o variantă mai bună pentru implementarea în zonele urbane unde comunicația wireless poate fi afectată de interferențe datorită mediului congestionat; • este independentă de modificările mediului înconjurător (copaci, clădiri noi) care ar putea afecta calea de comunicație;
Dezavantaje	• instalarea de repetitoare pentru a evita obstacolele existente în calea de comunicație; • este dependentă de modificările mediului înconjurător (copaci, clădiri noi) care ar putea afecta calea de comunicație;	• întreruperea mediului de comunicații în eventualitatea producerii unui scurt-circuit în rețea; • costul ridicat al dispozitivelor; • rezistența scăzută la interferențe; • în eventualitatea în care un nod al rețelei se defectează integritatea rețelei este afectată; • distanța de comunicație limitată (300-350m); • impedimente la trecerea semnalului prin transformatoare; • susceptibilită la perturbațiile introduse de a circuitele balast ale lămpilor; • posibilitatea de integrare a unui număr mic de noduri (maxim 20);

Așa cum se poate observa din avantajele și dezavantajele prezentate anterior mediul de comunicație wireless oferă o

serie de avantaje cum ar fi: costul redus al dispozitivelor, posibilitatea facilă de extindere a rețelei, integrarea unui număr cât mai mare de noduri (500), în comparație cu utilizarea cablurilor electrice ca mediu de comunicație.

Sistemele proiectate până în momentul de față propun transmisia informațiilor pentru comunicațiile locale wireless [5]-[13], folosind standarde ca IEEE 802.15.4, ZigBee și 6LoWPAN, sau având ca mediu de transmisie cablurile electrice deja instalate folosind PLC [14] (Power Line Communications). Protocoalele specifice rețelelor de senzori wireless pot fi folosite în cadrul unui sistem de control al iluminatului oferind avantaje superioare. Un alt impediment îl reprezintă alegerea topologiei de rețea în care este implementată rețeaua de senzori. Sistemul de control al iluminatului are la bază o structură de tipul "long-thin" distribuită pe o arie geografică mare de câțiva kilometri având în componență câteva sute de noduri. Topologiile de rețea care pot fi implementate în cadrul unei rețele de senzori sunt de tipul: stea, arbore și mesh. Avantajele utilizării unei topologii de rețea de tip arbore sunt: rețeaua poate fi extinsă ușor, tabelele de rutare au dimensiuni reduse și implicit o cerință a memorie RAM mai mică, posibilitatea de integrare a unui număr mare de noduri (până la 500), scalabilitate și asigurarea unor performanțe superioare în ceea ce privește întârzierea pachetelor. Topologia este ideală pentru aplicațiile în care există un punct central de colectare a informațiilor (sink node) ca și în cazul sistemului de control al iluminatului.

Astfel luând în considerare avantajele, prezentate anterior, topologia de rețea de tip arbore respectă cerințele de performanță pentru realizarea unui sistem de comandă.

I. ALGORITMI DE RUTARE

În continuare sunt prezentate pe scurt cele mai utilizate protocoale de rutare, în încercarea de a stabili un candidat care să îndeplinească cerințele de performanță pentru utilizarea în cadrul unui sistem de control al iluminatului stradal. Aceste cerințe sunt: posibilitatea de integrare a unui număr mare de noduri (până la 500), latența pachetelor cât mai mică și asigurarea unui nivel de performanță cât mai ridicat.

Algoritmii de rutare folosiți pentru rețelele ad-hoc, cum ar fi AODV Ad-Hoc On Demand Distance Vector [15], DSR (Dynamic Source Routing) [16] și DREAM (Distance Routing Effect Algorithm for Mobility) [17] au fost elaborați pentru asigurarea mobilității. Acești algoritmi sunt reactivi, ceea ce presupune inundarea rețelei cu mesaje pentru determinarea rutei. În cazul în care traseul este determinat, calea este stocată în memoria nodurilor participante. Acest mecanism este caracterizat de costuri ridicate în ceea ce privește consumul de energie, în plus dispozitivele trebuie să păstreze tabele de rutare mari, ceea ce generează anumite probleme, având în vedere că astfel de dispozitive au o memorie limitată.

În contrast cu algoritmii de tip reactiv, sunt algoritmii proactivi, cum ar fi DSDV (Dynamic Destination Sequenced Distance-Vector) și OLSR (Optimized Link State Routing) [18]. În loc să se construiască rute optimizate numai atunci când acestea sunt necesare, algoritmii proactivi păstrează o matrice de conexiuni mereu actualizată, care reflectă starea curentă și canalele disponibile pentru transferul de date. Din punct de vedere al

consumului de energie electrică și al volumului de calcul, acești algoritmi sunt prea costisitori, mai ales atunci când este necesară asigurarea mobilității. [19]

O altă variantă care poate fi luată în considerare este utilizarea algoritmilor care utilizează locația geografică, în acest caz tabelele de rutare nu mai sunt necesare, deoarece nodurile decid unde să transmită pachetul conform celei mai mici distanțe euclidiene a coordonatelor nodului destinație. Deoarece acești algoritmi au fost concepuți pentru dispozitive mobile, una dintre etape este transmiterea periodică a mesajelor de salut la toate dispozitivele învecinate, pentru memorarea adresei și poziției. Astfel, nodurile stochează locația vecinilor, după care se aplică un algoritm de tipul Greedy, prin transmiterea mesajului vecinului care se află cel mai aproape de nodul destinație. Pentru orice variație a algoritmului greedy, este important să se definească un criteriu pentru a preveni transmiterea neîntreruptă a mesajul în rețea în situația în care destinația specificată nu este găsită. Cu toate acestea, trebuie să se găsească un echilibru între performanța și garanția de livrare, astfel încât criteriul trebuie definit chiar și atunci când există o cale către nodul destinație.

Pentru a se asigura livrarea pachetului, algoritmii greedy utilizează frecvent strategii de recuperare, prin utilizarea a două moduri de operare. Astfel de strategii sunt folosite atunci când se renunță la un pachet în modul "pur" greedy, în cazul în care există un obstacol în rețea. Strategia cea mai utilizată de recuperare este folosirea grafurilor plane. Practic, ideea este de a desena rețeaua ca un graf plan unic astfel încât mesajele să fie transmise în direcția laturilor. Aceste strategii sunt utilizate în algoritmi ca GFG (Greedy-Face-Greedy), GPVFR (Vector Path Greedy Face Routing), GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) și GOAFR ++ (GreedyOther Adaptive Face Routing plus plus). În cadrul algoritmului GPSR, strategia de recuperare este numită modul perimetru și utilizează regula mâinii drepte pentru direcționarea fluxului de pachete prin rețea. În cazul în care distanța de la nodul respectiv la sursă este mai mică decât distanța la vecinii săi, algoritmul revine la modul greedy. [20]

Cel mai adecvat tip de rutare, pentru sistemul de control al iluminatului, ar putea fi, așa-numitul mod geocast, care necesită, ca dispozitive să-și cunoască poziția geografică. Algoritmii livrează mesaje dispozitivelor din rețea aflate într-o arie geografică, pe baza mecanismului one-to-many. Există mai mulți algoritmi de rutare dezvoltați pentru acest scop, unii bazați pe mesaje care inundă rețeaua și care găsesc ruta asemănător cu algoritmul AODV. Primul pachet care ajunge la zona de destinație trimite comanda la toate nodurile din zonă. Pe de altă parte, acest tip de algoritmi definește două tipuri de zone, zona de destinație și zona de rutare. Un exemplu ar putea fi utilizarea metodei LBM (Location Based Multicast), care este executată după cum urmează: zona de rutare este definită ca o zonă în direcția destinație, pachetele transmise în afara acestor două fiind eliminate. [21]

Sistemul de control al iluminatului presupune de cele mai multe ori o modalitate de transfer a informației de tipul one-to-many în care cel care inițiază comunicația este masterul sau centrul de comandă. Algoritmii GGPSR (Geocast Greedy Perimeter Stateless Routing Protocol) și GGPSR II (Geocast Greedy Perimeter Stateless Routing Protocol II) [19] sunt

structurați în două părți, prima este alcătuită din algoritmul GGPSR modificat pentru a determina zona căutată și a doua parte care presupune broadcast-ul mesajului la nodurile respective.

În loc să se folosească coordonatele specifice unui dispozitiv destinație, punctul central al zonei de destinație este calculat. Pachetul este apoi transmis la acest punct ajungând astfel la zona de destinație, primul dispozitiv care îl primește realizează broadcastul acestuia la toate nodurile din zonă. În momentul în care un nod primește mesajul de broadcast, realizează o operație de verificare a numărului secvențial, pentru a se evita astfel, retransmiterea. Este important de amintit că poziția geografică este reprezentată de coordonatele latitudine și longitudine.

În concluzie algoritmi de rutare care utilizează poziția geografică asigură și îndeplinesc condițiile de performanță, astfel pot fi utilizați în cadrul unui sistem de control al iluminatului. Algoritmii oferă o serie de avantaje cum ar fi: necesitatea unei memorii RAM reduse, latența pachetelor scăzută și posibilitatea de integrare a unui număr mare de noduri.

II. CONCLUZII

Consumul de energie electrică a sistemului de iluminat public al unui oraș din România este în medie de 20% din consumul total de energie al aceluși oraș. [22] Prin urmare, se impune integrarea de soluții de eficientizare a iluminatului. Tot la fel de importantă este reducerea cheltuielilor de mentenanță prin modernizarea și perfecționarea sistemului de verificare și comandă a lămpilor. Protocoalele care descriu rețelele wireless de senzori reprezintă un candidat atunci când se dorește implementarea unui sistem de control al iluminatului. Avantajele rețelelor de tip WSN comparativ cu cele de tip PLC sunt: costul dispozitivelor mai mic decât în cazul PLC, în eventualitatea în care un nod al rețelei se defectează nu este afectată integritatea și performanța rețelei, posibilitatea de integrare a unui număr mare de noduri (peste 500) și faptul că rețeaua poate fi extinsă rapid și facil. O altă problemă o reprezintă alegerea topologiei rețelei și algoritmul de rutare folosit astfel încât să fie asigurat un nivel al performanței cât mai ridicat. Topologia de tip tree oferă o serie de avantaje care au fost prezentate în secțiunea precedentă. Algoritmii de rutare care utilizează poziția geografică asigură o serie de avantaje fiind recomandați în cadrul unui sistem de control al iluminatului.

III. MULȚUMIRI

Această lucrare a fost finanțată prin FONDUL SOCIAL EUROPEAN, proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013, Axa prioritară 1: „Educația și formarea profesională în sprijinul creșterii economice și dezvoltării societății bazate pe cunoaștere”, cu domeniul major de intervenție 1.5: „Programe doctorale și post-doctorale în sprijinul cercetării”, proiectul „Q-DOC- Creșterea calității studiilor doctorale în științe ingineresti pentru sprijinirea dezvoltării societății bazate pe cunoaștere”, contract POSDRU/107/1.5/S/78534, acord de parteneriat nr.

24266/30.09.2010, având ca beneficiar Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca și ca partener Universitatea "Ștefan cel Mare" din Suceava.

BIBLIOGRAFIE

- [1] ZigBee Alliance Available at <http://www.zigbee.org/>
- [2] JenNet Protocol Stack Available at http://www.jennic.com/products/protocol_stacks/jennet
- [3] Gustavo W. Denardin, Carlos H. Barriquello, Rafael A. Pinto, Marcelo F. Silva, "An intelligent system for street lighting monitoring and control", *Power Electronics Conference*, 2009
- [4] DALI AG Digital Addressable Lighting Interface. DALI Manual. DALI AG of ZVEI, Division Luminaires. Germany, pp. 62. Available at http://www.daliag.org/c/manual_gb.pdf, 2001
- [5] Chunguo Jing, Dongmei Shu, Deying Gu, "Streetlight power cable monitoring system based on Wireless Sensor Networks", *International Conference on Information Acquisition*, pp 1284 – 1288, 2006
- [6] J.D. Lee, K.Y. Nam, S.H. Jeong, S.B. Choi, H.S. Ryoo, D.K. Kim, "Development of a ZigBee based street light system", *Power Systems Conference and Exposition*, pp 2236 – 2240, 2001
- [7] Chunguo Jing, Dongmei Shu, Deying Gu, "Design of streetlight monitoring and control system based on wireless sensor networks", *Conference on Industrial Electronics and Applications*, pp 57 – 62, 2007
- [8] L. Zucatto, A. Biscassi, F. Monsignore, F. Fidélis, S. Coutinho, M. L. Rocha, "ZigBee for building control Wireless Sensor Networks", *International Conference on Microwave and Optoelectronics*, pp 511 – 515, 2007
- [9] Heemin Park, Mani B. Srivastava, Jeff Burke, "Design and implementation of a Wireless Sensor Network for intelligent light control", *International Symposium on Information Processing in Sensor Networks*, pp 370 – 379, 2007
- [10] D. Curia, C. Volosencu, "Hierarchical lighting control in urban environments based on wireless sensor-actuators networks", *Advances in Dynamical Systems and Control*, 2008
- [11] Yi-Hua Liu, Shun-Chung Wang, Po-Yen Chen, "Development of a ZigBee-based electronics ballast system", *International Conference on Industrial Informatics*, pp 1556 – 1561, 2008
- [12] Gustavo W. Denardin, Carlos H. Barriquello, Rafael A. Pinto, Marcelo F. Silva (2009) "An intelligent system for street lighting monitoring and control", *Power Electronics Conference* pp 274 – 278
- [13] Maciej Mendalka, Michal Gadaj, Lukasz Kulas, Krzysztof Nyka, "WSN for intelligent street lighting system", *International Conference on Information Technology* pp 99 – 100, 2010
- [14] Yun-gui Zhang, Li-na Zhao, Li-na Wang, Sheng-yong Zhang, "A Web-based Management System for Urban Road Lighting", *International Conference on Web Information Systems and Mining* pp 279 – 282, 2010
- [15] Perkins, C. E., Belding-Royer, E. M., Das, S. R., "Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing", *Request for Comments: 3561*, 2003.
- [16] Basagni, S., Chlamtac, I., Syrotyuk V.R., Woodward B.A., "A distance routing effect algorithm for mobility (dream)", *In Proceedings of ACM/IEEE, MobiCom '98*, 1998.
- [17] Perkins, C., Bhagwat, P., "Highly Dynamic Destination Sequenced Distance-Vector Routing for Mobile Computers", *Comp. Commun.* 1994.
- [18] Clausen, T., Jacquet, P., "Optimized Link State Routing Protocol", *Request for Comments: 3626*, 2003
- [19] Rodrigo Palucci, Pantoni, Dennis Brandão, "A Geocast Routing Algorithm Intended For Street Lighting System Based On Wireless Sensor Networks", 2011
- [20] Pantoni, Brandão, "A geocast routing algorithm intended for street lighting system based on wireless sensor networks", *Industry Applications (INDUSCON)*, 2010
- [21] Karp, B, Kung, H. T., "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks", *Proceedings of the 6th ACM/IEEE MobiCom.*, 2000
- [22] "Monitorizarea consumului de energie electrică în iluminatul public", Available at <http://www.icmet.ro/Prezentare%20proiect.pdf>.