

IEEE 802.15.4 tīklu pētīšana industriālā vidē

Dmitry Bliznyk, Riga Technical University

Kopsavilkums. Raksts satur IEEE 802.15.4 standarta bezvadu tīklu pētījumu rezultātus. Pētījumu mērķis bija noskaidrot, kas ražošanas telpās var iespaidot bezvadu datu sakaru kvalitāti. Rakstā tiek apskatītas literatūrā sastaptas potenciālas problēmas, kas var ietekmēt bezvadu sakaru kvalitāti. Tie tiek eksperimentāli pārbaudīti speciāli izveidotā testa zālē, kurā tiek izveidota ražošanas telpām līdzīga vide. Eksperimentu rezultātus turpmāk var izmantot pielietojot IEEE 802.15.4 standarta bezvadu tīklus industriālā vidē, kā arī padziļinātiem pētījumiem nākotnē. Kopā ar pētījumu rezultātiem tiek aprakstīta statistisko datu apstrādes metodika. Šiem nolūkiem tika izveidota veidne, kas vizualizē datus un ļauj ātri veikt datu analīzi arī nesagatavotam lietotājam.

Atslēgas vārdi: IEEE 802.15.4, bezvadu tīkli, industriālā vide, R valoda.

I. IEVADS

Ražošanas automatizācijas jomā nepārtraukti aug tehnoloģiju skaits, kurās izmanto bezvadu sakarus [1]. Viena no tādām tehnoloģijām ir devēju mērījumu nolasīšana. Šajā pielietojumā bezvadu sensoru tīkliem jānodrošina maksimāls autonomas darbības laiks. IEEE 802.15.4 standarts [2] ir izveidots 2003. gadā un jau ir izcīnījis vietu industriālās pielietojumos. Uz tā bāzes tika izveidoti daži augstāko slāņu protokoli (piemēram WirelessHART [3], ZigBee [4]).

Atšķirībā no ikdienā lietojamiem WLAN tīkliem, IEEE 802.15.4 standarts paredz mazu datu pārraides ātrumu, ilgu autonomas darbības laiku un zemu gala iekārtas cenu. Sākotnēji industriālos pielietojumos bezvadu tīkli tika izmantoti, lai nolasītu devēju mērījumus, bet tehnoloģijām attīstoties, iespējams izmantot bezvadu sakarus arī iekārtu vadībai. Tādējādi bezvadu tīkliem jānodrošina arī sakaru kvalitātes prasības.

Šī tēma ir aktuāla, jo šobrīd top vismaz trīs pasaules mēroga standarti (WirelessHART [3], ISA-100.11a [5], WIA-PA[6]), kas ir virzīti uz bezvadu tīklu izmantošanu ražošanas automātikā. Pētījumi un eksperimenti tika veikti Vācijas institūtā „ifak” projekta ietvaros.

Raksta struktūra: II daļā aprakstīta eksperimentos izmantotā metodika, iekārtas un testa saime, III daļa satur eksperimentu rezultātus un secinājumus, IV. daļā ir aprakstīta datu apstrādes metodika.

II. EKSPERIMENTU APRAKSTS

Lai būtu iespējams paveikt eksperimentus un kvantitatīvi novērtēt bezvadu tīkla sakaru kvalitāti, tika izmantoti sekojošie kritēriji: latentums, trīce un pakešu zudumi (angl. latency, jitter, packet loss). Šo kritēriju vērtības katram testam tika noteiktas izmantojot speciāli šiem nolūkiem paredzētu iekārtu „MultiFace”.

Zemāk ir aprakstīti kritēriji un to iegūšanas veids. Latentums ir laika periods no pirmā datu bita pārraides uz sūtītāja komunikācijas saskarni, līdz pēdējā bita saņemšanai no saņēmēja komunikācijas saskarnes. Latentums ietver sevī visas darbības, kuras tiek veiktas starp divām komunikācijas saskarnēm, vadoties pēc noteikta protokola. To iekļauj aizkaves dēļ: traucētas radio pārraides, aparatūras un programmatūras implementēšanas īpatnības. Lai novērtētu bezvada iekārtu pēc latentuma kritērija tiek izmantota 95.procentiles vērtība. Tas dot iespēju novērtēt latentuma izmaiņu dēļ arējiem traucējumiem. Kopā ar 95.procentiles vērtību, iekārtas novērtēšanai pēc latentuma kritērija, tiek izmantotas arī rezultātu kopas minimālā un maksimālā vērtības. Minētas trīs vērtības tiek attēlotas kopsavilkumā grafikā, lai salīdzinātu savā starpā dažādus eksperimentus.

Trīce ir laiks starp divām saņemtām paketēm. Laiks tiek mērīts mirklī kad ir saņemts pēdējais datu bits no komunikācijas saskarnes. Datu sakaru novērtēšanai pēc trīces parametra tiek izmantota rezultātu vērtību kopas vidējā vērtība. Laika izmaiņas tiek novērtētas ar standarta novirzi. Vidējais laiks kopā ar minimālo un maksimālo vērtībām tiek attēlots atsevišķā kopsavilkuma grafikā, lai salīdzinātu savā starpā dažādus eksperimentus. Latentuma un trīces vērtības arī tiek attēlotas histogrammas grafikā, lai novērtētu kopējo vērtību sadalījumu.

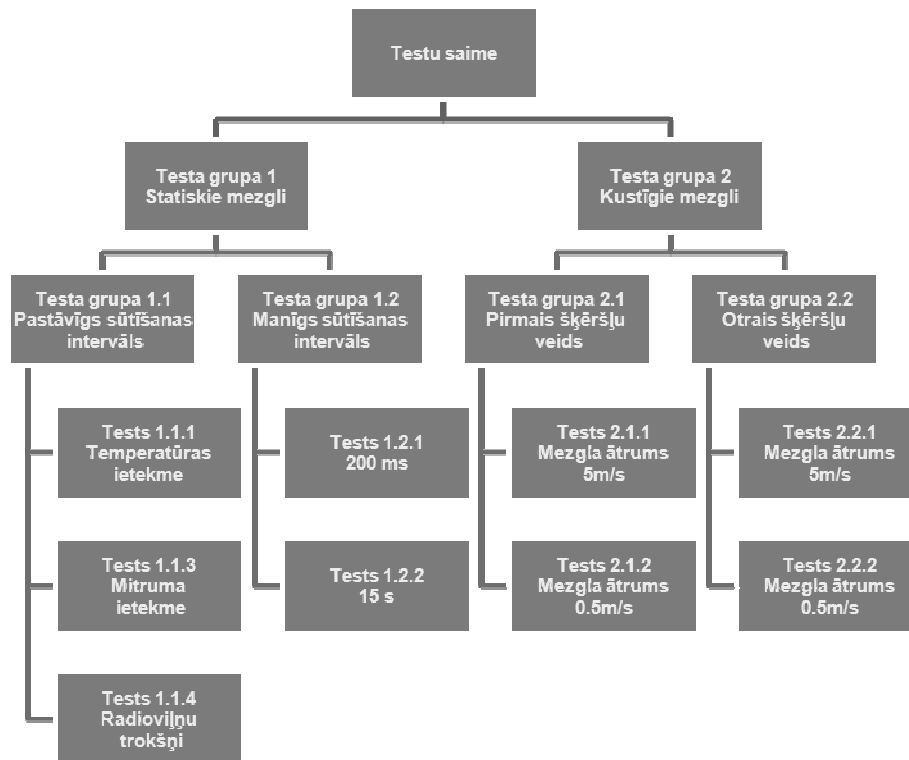
Pakešu zudums parāda cik daudz sūtījumu nonāca līdz saņēmēja lietotnei. Matemātiski to var definēt sekojoši (1):

$$PLR = \frac{N_{Tx} - N_{Rx}}{N_{Tx}} \quad (1)$$

Pakete arī tiek uzskatīta par zaudētu, ja ir pārsniegta noteikta laika robeža. Tātad saņemto pakešu skaits ir noteikts sekojoši (2):

$$N_{Rx} = \sum_{i=1}^{N_{Tx}} f_{Rx}(i), f_{Rx} = \begin{cases} 1 : \forall t_{TT_i} \leq t_{TT_{maxUL}} \\ 0 : \forall t_{TT_i} > t_{TT_{maxUL}} \end{cases} \quad (2)$$

Testa saime satur divas galvenās grupas (sk. 1. attēlu): kustīgo mezglu scenāriji, kuros tika pārbaudīta kustības ātruma ietekme un statisko mezglu scenāriji, kuros tika pārbaudīti dažādi vides apstākļi un pārraides režīmi. Par etalona testu tika paņemts tests 1.2.1, kurš bija paveikts bez jebkādiem ārējiem traucējumiem, statiskā režīmā ar pastāvīgo pārraides intervālu 200ms. Pārraides intervāls tika izvēlēts tā, lai tas būtu lielāks par četriem (jo ir iespējami maksimāli trīs atkārtoti paketes sūtījumi) maksimāliem paketes aprites laikiem. Tādējādi bezvadu sakaru parametru mērīšanai būs pietiekami pa vienam diskretam signālam sūtītāja un saņēmēja



1. att. Testu saime

pusēs. Visos testos (izņemot 1.2.2) tiks izmantots tas pats 200ms sūtīšanas intervāls.

Visos testos tiks pieļautas maršrutēšanas iespējas. Maršrutēšanas algoritms izstrādāts speciāli šiem eksperimentiem un definētai topoloģijai. Datu saņēmējs ir vienmēr viens un tas pats mezgls, datu sūtītājs ir zināms no paketes lietotāja datu lauka un paketes pēdējais sūtītājs ir zināms no paketes servisa lauka. Tādējādi maršrutēšanas shēma nav sarežģīta un tomēr nepieļauj maršrutēšanas cilpu rāšanos.

Eksperimentos tika izmantotas sekojošas iekārtas:

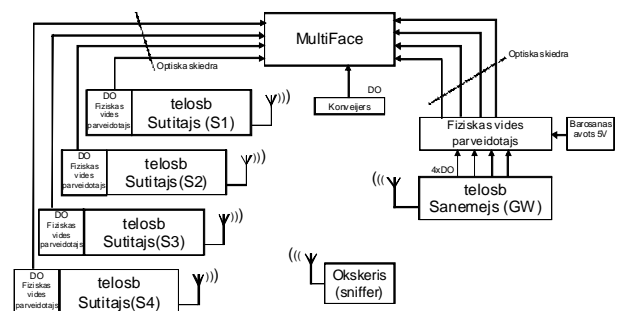
1) IEEE 802.15.4 standartam atbilstošie „Crossbow TPR2400 TelosB” [7] bezvada mezgli. Izmantojot mezglos esošo mikroprocesoru MSP430, tika veikta testa datu saņemšana un sūtīšana pēc noteikta laika saraksta un ārējo saskarnes punktu kontrole.

2) Multiface – ifak institūta izveidots programmaparatūras komplekts, kas paredzēts dažādu saskarnes radio iekārtu testēšanai. Testu rezultāti tiek pārraidīti datorā turpmākai saglabāšanai.

3) Reāllaika spektra analizators Tektronix RSA6114A. Izmantots, lai pārbaudītu radio signāla jaudas izmaiņas, kā arī ārējo elektromagnētisko trokšņu fiksēšanai.

4) Radio signāla ģenerators. Izmantots ārējo elektromagnētisko trokšņu radīšanai.

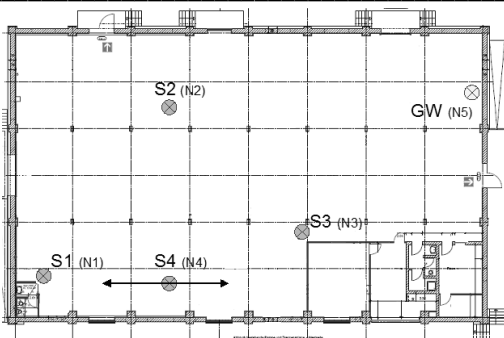
5) Texas Instruments CC2420MSP430ZDK okšķeris, kas deva iespēju fiksēt visas radio ēterā esošās paketes un to raidīšanas laiku.



2. att. Iekārtu saslēgšanas shēma

Attēlā 2 redzamā shēma parāda iekārtu saslēgšanas veidu. Ir četri sūtītāji un viens saņēmējs. Ar optisko šķiedru tie pievienoti pie MultiFace iekārtas. Paketes sūtīšanas un saņemšanas brīdis tiek fiksēts ar MultiFace iekārtu vadoties pēc telosb mezglu ģenerētā diskretā signāla. TelosB mezgliem ir parastas diskretas relejveida izejas un to signāls tiek pārveidots optiskā starojumā izmantojot fiziskās vides pārveidotājus. Tas dot iespēju galvaniski atsaistīt mērīšanas iekārtu no testējama mezgla, kā arī minimizēt ārēja elektromagnētiska starojuma ietekmi uz vadā pārraidīto signālu.

Pēitīte telosB bezvadu mezgli tika izvietoti testa zālē ar izmēriem 50x30 metri (3. attēls). Visi mezgli bija tiešā redzamībā viens pret otru, izņemot 2.x.x testa grupu ar šķēršļiem.



3. att. Testa zāles shēma

III. EKSPERIMENTU REZULTĀTI UN SECINĀJUMI

Eksperimentu rezultātu apskati sāksim ar ārējas vides ietekmes testiem.

Tests 1.1.1 ir paredzēts divu potenciālu problēmu pārbaudei. Raidzuvēreņa moduļa centrālās raidīšanas frekvences nobīde dēļ palielinātās temperatūras un bāzes frekvences ģenerators nestabilitātes [8]. Protams, ka bezvadu iekārtu ražotājs definē temperatūras diapazonu, kurā iekārtai jāatbilst definētiem parametriem, bet ifak institūta praksē tika sastapti gadījumi, kad raidītājam, strādājot tuvu pie augšējās darbības temperatūras robežas, tika novērota centrālās frekvences nobīde. Kā arī temperatūrai palielinoties tika novērots „multipath” efekts, kas radio signāla atstarošanas dēļ, uzliek uz oriģināla signāla tā kopiju ar fāzes nobīdi, tādējādi traucējot pārraidi.

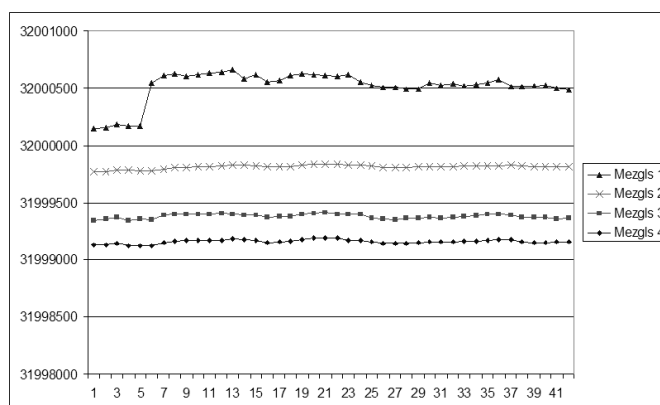
Otra potenciālā problēma bāzējas uz rakstiem [8], kuri pēta bāzes frekvences nestabilitāti. Tiek secināts, ka mikroprocesora iekšējais elektroniskais ģenerators ir pārāk nestabils un ārēja kvarca ģenerators frekvence var būt nepietiekama, lai taktētu IEEE 802.15.4 standarta definētos vides piekļuves intervālus.



4. att. Temperatūras kamera

Eksperimentā tika izmantota temperatūras kamera (4. att.), kura uzturēja uzdoto temperatūru un mitrumu. Tika pārbaudīti divi mezgli, datu saņēmējs bija ārpus kameras, sūtītājs tika ievietots kamerā. To darbība tika pārbaudīta pie 20°C un 70°C. Definēto kritēriju atšķirība bija zem viena procenta un raidītāja centrālās frekvences nobīde netika pamanīta, tādējādi var secināt, ka pārbaudītā temperatūras diapazonā apskatītie mezgli strādā stabili. Mēģinot skaidrot potenciālo problēmu rašanās iemeslu var izdarīt pieņēmumu, ka minētie sakaru traucējumi rodas dēļ radio signāla ceļā esošo priekšmetu īpašību izmaiņām, palielinātas temperatūras ietekmē.

Lai pārbaudītu otro potenciālo problēmu – bāzes frekvences ģenerators nestabilitāti, tika salīdzināta lielo intervālu nestabilitāte četrām bezvadu iekārtām. Katrs mezgls ģenerēja 32 sekunžu ilgu laika intervālu, katra intervāla beigās uz diskreto izeju tika padots signāls. Laiks starp signāliem tika mērīts ar ārējo iekārtu. Intervālu atšķirība četriem mezgliem ir redzama attēlā 5. Mezgls 1 (augšējā līkne) tika pakļauts palielinātas temperatūras iedarbībai. Pat palielinātas temperatūras iedarbībā intervālu atšķirība nepārsniedz 3 milisekundes vienā minūtē. Bet galvenais ir tas, ka laikā gaitā kļūda nepalielinās un ja izdara mezglu sinhronizāciju, tad dienās laikā atšķirība nepārsniedz 100 mikrosekundes vienā minūtē.



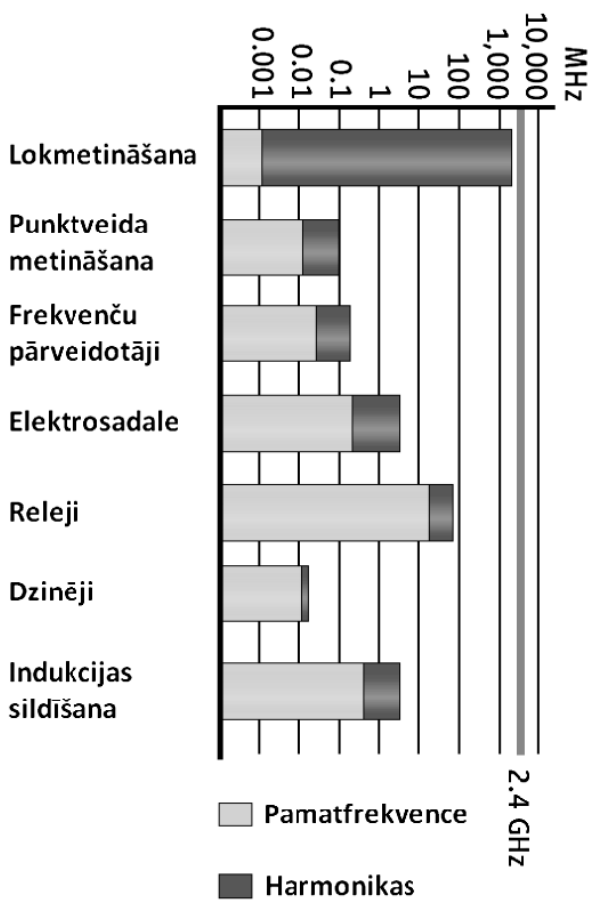
5. att. Četrus mezglus intervālu atšķirība. Y ass – izmērīts intervāls milisekundēs. X ass – intervāla numurs

Tests 1.1.3 pārbaudīja bezvadu sakaru darbību mitruma ietekmē. Bezvadu iekārtu lietotāju atsauksmēs bieži vien var dzirdēt par sakaru kvalitātes problēmām sliktu laikapstākļu dēļ [9]. Tā kā ražošanas telpas bieži vien parādās liela mitruma apstākļi, ir vērts pārbaudīt to ietekmi uz bezvada sakariem. Eksperiments tika izveidots līdzīgi temperatūras testam 1.1.1, bet šajā gadījumā kamerai bija uzdots uzturēt 90% RH mitrumu bez kondensēšanas. Rezultātā netika pamanīti sakaru kvalitātes pasliktinājumi. Turpmākiem testiem plānots veikt eksperimentus apstākļos, kuros tiks imitēti lietus un miglas apstākļi.

Vēl viens tests no vides traucējumu grupas pārbaudīja elektromagnētiska trokšņa iedarbību uz bezvadu datu sakaru kvalitāti. Vācijas elektrisko un elektronisko iekārtu ražotāju asociācija publicēja pētījumus par bezvadu sakaru

līdzāspastāvēšanu, kuros tika minēts par traucējumiem kuri var būt sastapti industriālā vidē (6. attēls).

Kā redzams no 6. Attēla, lielāko problēmu var radīt lokmetināšana, jo elektromagnētiskā izstarojuma harmonikas var sasniegt 1 GHz frekvenci. Tomēr neviens no traucējumiem nesasniedz bezvadu sakariem izmantoto 2.4GHz frekvenci. Tā kā nebija pilnīgas informācijas par apstākļiem, kuros veikts aprakstītais eksperiments, tika nolemts veikt papildus eksperimentu. Tests 1.1.4 pārbauda divus elektromagnētiska trokšņa avotus: parasta elektroluminiscences lampa un IEEE802.11g standarta signāls. Protams, ka pēdējais minētais punkts nav nejausi ģenerēts troksnis, bet eksperimentā tiek veidota situācija, kad signāla avots ignorē testējamā mezgla signālu, jo tā jauda ir pārāk vāja.



6. att. Industriālas vides trokšņu avoti

Izmantojot spektra analizatoru, tika mērīts elektromagnētiskais troksnis kuru rada luminiscences lampa izslēgšanas brīdī. Un rezultātā tika secināts, ka elektroluminiscences lampas izslēgšanas brīdī elektromagnētiskais troksnis var sasniegt 5GHz frekvenci. Trokšņu signāla jauda:

- 20dBm pie 430 MHz
- 10dBm pie 2.4 GHz
- 2dBm pie 5 GHz

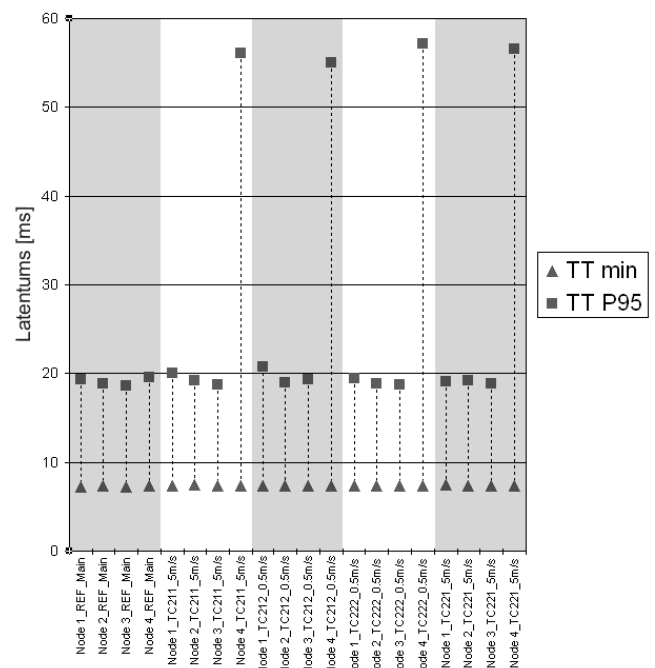
Troksnis ilgst mazāk par 0.5μs, tādēļ tas neiespaido IEEE802.15.4 komunikāciju, jo viena bita pārraides laiks ir 4μs. Datu pārraidei ir izmantota redundance, jo katrs četri biti

tiek kodēti ar 32 simboliem, kuri jau ir pārraidīti ēterā, tādējādi pateicoties redundancei bits tiek pārraidīts bez kļūdām.

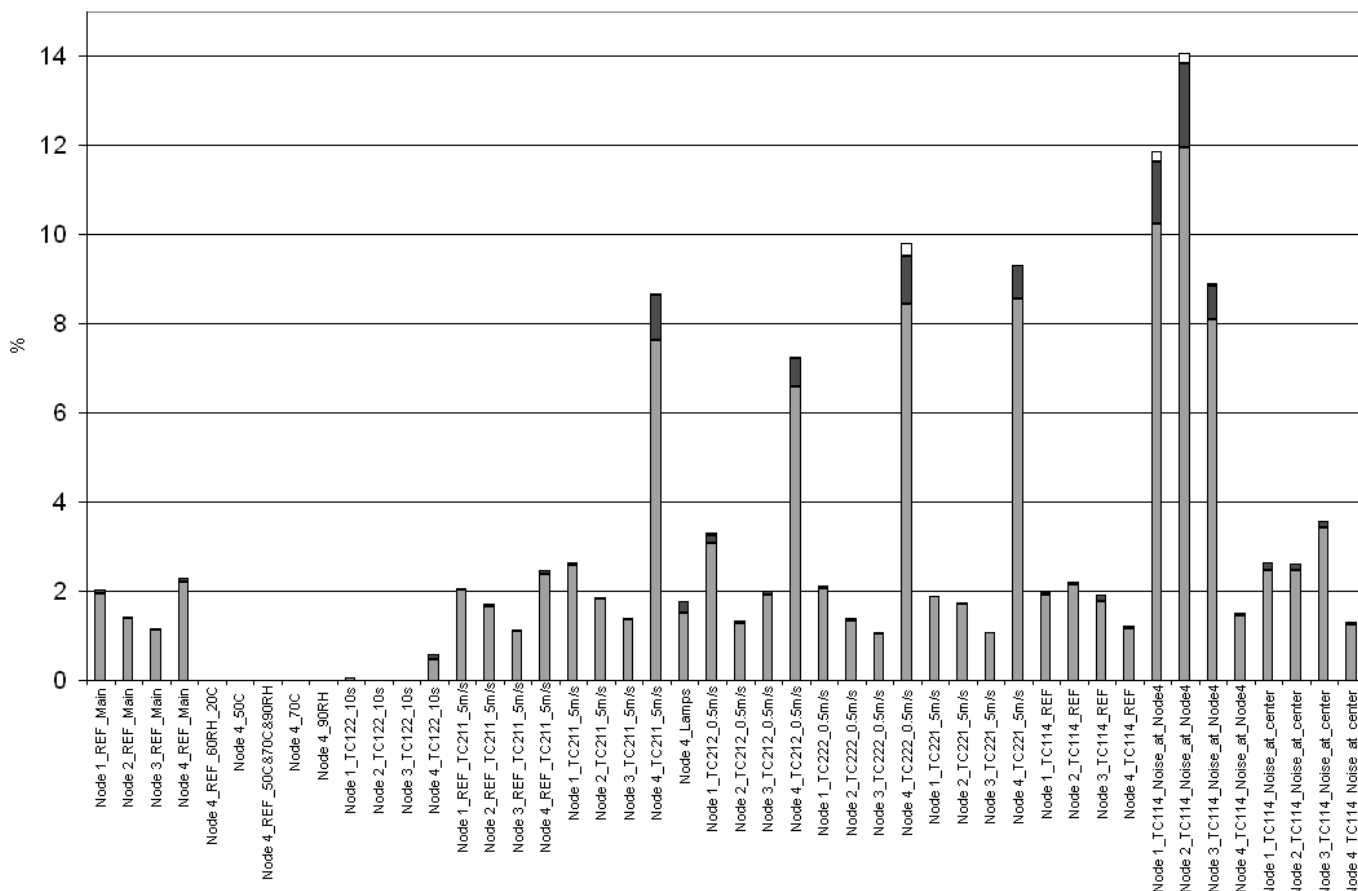
No eksperimenta izriet prasība ievērot elektroluminiscences lampu veidoto troksni. Trokšņa jauda nav liela, tāpēc pietiks novietot bezvada iekārtu metra attālumā no lampas un troksnis vairs nebūs jūtams. Tā kā troksnis parādās tikai lampas izslēgšanas (ieslēgšanas brīdī tas ir ievērojami vājāks) brīdī, var secināt, ka to rada lampas palaidējs, tādējādi, izmantojot elektronisko palaidēju, ir iespējams pavisam nepieļaut trokšņa veidošanu.

Eksperimentā ar IEEE802.11g standarta vieda troksni, datu sakaru kvalitāte bija atkarīga no ģenerētā trokšņa jaudas. Gadījumā, ja centrālās frekvences troksnim un pētāmajam mezglam sakrīt, tad maksimāla trokšņa jauda pie kuras ir iespējams veikt datu apmaiņu ir -37dBm. Ja trokšņa jauda vienāda ar 15dBm (visbiežāk praksē izmantojama vērtība), tad minimālai centrālo frekvenču starpībai jābūt 20MHz, lai pētāmais mezgls varētu pārraidīt datus, kas ir vienāds ar IEEE802.11 joslas platumu. No šā eksperimenta var secināt, ka lai divi bezvada standarta mezgli varētu strādāt tuvumā, jānodrošina to atdalīšana, vai frekvenču diapazonā, vai samazināt jaudu tā, lai citu partneru jauda būtu zem paša mezgla jutības robežas. Ja to izdarīt nevar, tad ir jānodrošina, lai abi mezgli varētu just viens otra signālus, tādējādi būs iespēja protokola definētā kartībā sadalīt joslu.

Tests 1.2.2 tika veikts, lai pārbaudītu vai datu pakešu apstrādes ceļā notiek cikliskas operācijas, jo tad būtu iespējams minimizēt vidējo paketes piegādes laiku, atradot optimālu sūtīšanas intervālu. Tā kā TelosB mezgls apstrādā datu sūtīšanas un saņemšanas operācijas asinhroni, pēc pārtraukuma, ciklisko operāciju nebija un vidējā aizkave bija vienāda gan pie 200ms sūtīšanas intervāla, gan pie 15s.



7. att. Kustīgo mezglu testu grupas rezultāti



8. att. Pakešu atkārtoto sūtījumu sadalē

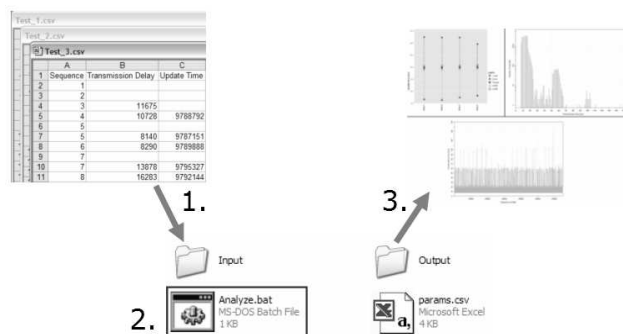
Nākamā testu grupā - 2.x tika pārbaudīta datu sakaru definēto parametru atkarība no mezgla kustības ātruma un šķēršļu veida. Testu rezultātu kopsavilkumu var redzēt 7. attēlā. Tajā ir redzams latentuma laiks četriem pētāmiem mezgliem. Testi ir sadalīti piecās grupās. Pirmā grupa ir etalona tests, nākamās četrās grupās mezgls Nr.4 bija kustīgs ar ātrumiem 5m/s un 0.5m/s, pie diviem dažādiem šķēršļu veidiem.

Var redzēt, ka kustinot mezglu, tā latentuma laiks palielinās, jo mezgls bieži trāpīja zonās, kur nebija tiešas redzamības sakaru ar visiem mezgliem. Signāls šajos gadījumos tika novājināts un pakete bija jāsūta vēlreiz. Var secināt, ka neatkarīgi no ātruma un šķēršļu veida, vidējais latentums ir vienāds.

Lai veidotu kopīgo testu secinājumus, var aplūkoties uz 8. attēlu, kur parāda cik daudz atkārtoto sūtījumu bija nepieciešams, lai pakete tiktu līdz saņēmējam. Grafikā ir parādīti tikai atkārtotie sūtījumi, tātad ja, piemēram, testā 1.2.2 vērtība ir 0, tas nozīmē, ka visi ziņojumi tika nogādāti ar pirmo mēģinājumu bez atkārtojumiem. Aplūkojot šo grafiku var redzēt, ka paketes piegādes varbūtība aug eksponenciāli ar katru nākamo sūtījumu. Tātad pietiek ar trim atkārtojumiem, lai ar 99.8% varbūtību piegādātu datus.

IV. DATU ANALĪZES METODE

Eksperimentu gaitā izveidojas daudz statistiskā materiāla, kuru vajadzēja ātri apstrādāt, lai pārbaudītu rezultātu ticamību un koriģētu nākamo testu parametrus. Šiem nolūkiem ifak institūtā tika izmantota speciālā programmas pakotne „Origin” [10]. Ar tās palīdzību bija iespējams veikt visu nepieciešamo analīzi, bet to vajadzēja darīt pusautomātiskā režīmā, norādot kuru datni vajag analizēt. It īpaši lēni tika veidoti kopsavilkuma grafiki.



9. att. FRAD veidnes darbplūsmā

Lai paātrinātu un atvieglotu šo procesu, izveidota „FRAD” veidne uz „R” [11] valodas bāzes. F.R.A.D. – „Fast Result Analysis and Display” ir veidne datu automatizētai vizualizēšanai un analīzei.

Darbpļūsma ir vienkāršota līdz minimumam (9. att.): nokopē datus → palaid skriptu → saņem grafikus.

Veidne sastāv no:

- “R” skripta datnes,
- parametru datnes,
- .bat datnes skripta palaišanai un žurnāla veidošanai.

Iespējamie uzdevumi, kurus var veikt ar FRAD veidni:

- ātri saņemt datu kopsavilkumu,
- vizuāli salīdzināt datus (virknes dati, histogramma),
- lielo datu masīvu analīze,
- rezultātu publicēšana.

FRAD mērķis ir dot nesagatavotam lietotājam iespēju ātri veikt datu statistisko analīzi. Parametru datne dod iespēju, neiedziļinoties “R” sistēmā, izvēlēties analīzes veidus un mainīt grafiku izskatu. FRAD gatavs lietošanai ar ASCII ievades datnēm (piem. CSV) un rezultātā izdot virknes, histogrammas un kopsavilkuma grafikus. Kā arī var saglabāt kopsavilkuma rezultātus .csv datnē. Viena no svarīgām īpašībām ir cilvēkfaktora kļūdu izslēgšana. Kā arī vēl viens svarīgs fakts - to var izmantot bez maksas.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] K. Khakpour, M.H. Shenassa, *Industrial Control using Wireless Sensor Networks*. Damascus, 2008, pp. 1-5.
- [2] IEEE standards Association, „IEEE standard 802.15.4-2003”, 2003. [Online]. Available: IEEE standards Association, <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2003.pdf>. [Accessed September 20, 2010].

- [3] HART Communication Foundation, “WirelessHART Technology”, 2007. [Online]. Available: HART Communication Foundation, http://www.hartcomm.org/protocol/wihart/wireless_technology.html. [Accessed September 10, 2010].
- [4] P. Kinney, Kinney Consulting LLC / Chair of IEEE 802.15.4 Task Group, “ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works”, 2003. [Online]. Available: ZigBee Alliance White Papers Download, http://www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=5162. [Accessed August 15, 2010].
- [5] The International Society of Automation, “ISA-100.11a-2009 Wireless systems for industrial automation: Process control and related applications”, 2009. [Online]. Available: The International Society of Automation, <http://www.isa.org/Template.cfm?Section=Standards2&template=/Ecommerce/ProductDisplay.cfm&ProductID=10766>. [Accessed September 8, 2010].
- [6] T. Zhong, M. Zhan, Z. Peng, W. Hong, *Industrial wireless communication protocol WIA-PA and its interoperation with Foundation Fieldbus*, in Computer Design and Applications (ICCD) International Conference, 2010, pp. 370-374.
- [7] Crossbow Technology Inc., “Crossbow Technology Releases TelosB Mote Platform”, 2005. [Online]. Available: Crossbow Technology, http://www.xbow.com/pdf/Telos_PR.pdf. [Accessed September 15, 2010].
- [8] A. Kopke, J.-H. Hauer, “IEEE 802.15.4 Symbole Rate Timer for TelosB”, Telecommunication Networks Group Technical Report, Berlin, Germany, 2008.
- [9] J. Otero, P. Yalamanchili, H.-W. Braun, “High Performance Wireless Networking and Weather”, Report at High Performance Wireless Research and Education Network (HPWREN), 2001.
- [10] OriginLab Corporation, “Origin – Data Analysis and Graphing Software”, 2009. [Online]. Available: OriginLab Corporation Products, <http://www.originlab.com/index.aspx?go=Products/Origin>. [Accessed September 14, 2010].
- [11] The R Project for Statistical Computing, “What is R?”, 1993. [Online]. Available: The R Project for Statistical Computing, <http://www.r-project.org/about.html>. [Accessed September 13, 2010].

Dmitry Bliznyk gained M.sc.eng. degree at Riga Technical University in 2008.

From 2009 up to now - researcher position at Riga Technical University.

Email: dmitrijs.bliznuks@rtu.lv

Dmitry Bliznyk. Investigation of IEEE 802.15.4 based networks with respect to industrial conditions

The paper presents research results of IEEE 802.15.4 based networks. The aim of the research was to determine industrial area conditions which could affect wireless network timing and quality characteristics. Environmental conditions and tests setup were chosen to match scenarios of potential wireless transfer problems, which were described in scientific papers and journals. To recreate conditions of problematic scenarios the experiments were held in special test hall. Equipment placed in the test hall gave ability to create specific non line of site conditions, to move the node with predefined speed, create specific temperature and humidity conditions and to measure network characteristics. The test suite contains nine experiments divided in two groups. First group experiments were aimed on environmental conditions research. Second group experiments were dealing with mobile node. Unexpected results were obtained from electromagnetic noise generation test, since noise could reach 5GHz frequency. Also mobile node tests proved that there is no difference in node moving speed in range less than five meters per second. Experiments results could be used for wireless network setup in industrial conditions and also for future detailed tests of specific conditions.

Along with experiment results paper presents approach for statistical data visualization and analysis. For this purposes the template based on R package were created. The template provides possibility to make fast data analysis even for inexperienced user. By the default template is configured to use as input files .csv(comma-separated values) format data files. Template is ready to create linear plots, histograms, summary graph and summary table in .csv format. Template contains a lot of features that would help user getting fast data statistical analysis and also tuning plot visual look in custom fashion.

Дмитрий Близнюк. Исследование IEEE 802.15.4 сетей в индустриальной среде

В статье представлены результаты исследования сетей стандарта IEEE 802.15.4. Целью исследования было определить, какие промышленных условия могут повлиять на качество передачи данных в беспроводной сети. Условия окружающей среды и тип тестов были выбраны в соответствии со встречающимися в литературе сценариями потенциальных проблем при беспроводной передаче данных. Чтобы воссоздать условия проблемных сценариев эксперименты были проведены в специальном испытательном зале. Оборудование, установленное в тестовом зале, дало возможность создавать специфические условия для блокирования радиосигнала, для перемещения узлов с заданной скоростью, для создания среды с определенной температурой и влажностью, а также для измерения необходимых характеристик сети. Тестовый комплекс составлен из девяти тестов, поделенных на две основные группы. В первой группе эксперименты были нацелены на исследование различных влияний внешней среды. Вторая группа содержала эксперименты, исследующие влияние мобильности узла на характеристики передачи данных. Неожиданные результаты были получены в тесте создающем электромагнитные помехи, так как частота помех достигала 5ГГц. Также в ходе экспериментов был подтвержден факт независимости характеристик передачи от скорости движения беспроводного узла, при максимальной скорости до пяти метров в секунду. Результаты экспериментов могут быть использованы при создании беспроводной сети в промышленных условиях, а также для будущих углубленных исследований.

Наряду с результатами экспериментов в статье представлен подход к визуализации статистических данных и их анализа. Для этих целей был создан шаблон на основе программного пакета «R». Шаблон дает возможность делать быстрый анализ данных, даже неопытным пользователям. Шаблон готов к созданию линейных графиков, гистограмм, обзорный график и его табличное представление