



UDK: 303.645

БЕЖИЧНЕ СЕНЗОРСКЕ МРЕЖЕ У ДИЈАГНОСТИЦИ НА КОТРЉАЈНИМ ЛЕЖАЈЕВИМА

Александар Ашоња¹, Данило Микић²

¹"НС-Термомонтажа" доо - Нови Сад

²Техничка школа "Ј. Жујовић"- Горњи Милановац

Садржај: У раду је дат преглед више норми комуницирања код бежичних сензорских мрежа које се користе у дијагностици на котрљајним лежајевима. Наведене су основне економско-оперативне предности које утичу на избор ових система, предности коришћења бежичних сензорских мрежа у односу на жичане, као и њихова могућа ограничења током употребе. Описане су карактеристике више примера актуелних сензорских мотива који се користе на котрљајним лежајевима. Један пример места уградње бежичног сензора на котрљајном лежају, његов број и распоред елемената је детаљно анализиран.

Кључне речи: бежична сензорска мрежа, дијагностика, котрљајни лежај

1. УВОД

Сензор је електронски уређај који мери одређене физичке величине (температуру, вибрације, притисак и др.) и конвертује их у одговарајуће електричне сигнале. Основна улога сензорских јединица је добијање потпуне информације о стању индустријског процеса. Најзначајнија класификација сензора врши се на основу њихове функције односно величине коју мере.

Индустрија је већ дужи период заинтересована за примену мехатронике у циљу дијагностике стања машина, при чему се може рећи да данас не постоје системи за надзор који барем у једном својем сегменту не користе микропроцесоре. Употреба сензорских јединица у индустрији има своје покриће једино уколико може повратити уложена средства у њих. Таква улагања у сензорске мреже могу значајно смањити трошкове у даља одржавања и непредвиђене могуће застоје, [1].

Мрежне апликације сензорских јединица се веома широко разликују, и могу бити од неколико сензора унутар неке машине до хиљаде сензора дистрибуираних широм неког фабричког постројења. Те мреже могу бити жичане, бежичне или комбиноване (комбинација жичане и бежичне), а њихов избор зависи у зависности

од апликационих захтева и трошкова. Остале карактеристике као што су стопа преноса, ограничење снаге и физички број сензора, имају веома важну улогу у представљању захтева у погледу архитектуре сензорских мрежа.

Основне економске-оперативно предности које утичу на избор ових система су: висока поузданост у раду, унапређење процеса одржавања, побољшање радних перформанси на машинама, релативно висока тачност, флексибилност, ниска цена и лако распоређивање сензора у простору, [4].

2. СЕНЗОРСКЕ МРЕЖЕ У ДИЈАГНОСТИЦИ НА КОТРЉАЈНИМ ЛЕЖАЈЕВИМА

Значајна примена дијагностике стања над котрљајним (кугличним) лежајевима заснована на примени сензорских јединица, која прати величине, попут: температуре, вибрације и стање мазива, итекако има смисла у периоду који долази. Оправданост употребе система са сензорским јединицама на котрљајним лежајевима је свакако на скупим машинама, машинама недоступним човеку или у процесима у експлозивним срединама, како би се спречиле појаве паљења. У том циљу, уграђивањем склопова са сензором за праћење стања температуре котрљајних лежајева добила би се потпуна информација о њихову стању, у погледу противексплозивне заштите, али и функционалности и расположивости машина. Добијени квалитативни или квантитативни подаци континуирано би пратили стање котрљајног лежаја, [8].

Пожељно је системе склопова са сензорима поделити према просторном распореду ротационе опреме у погонима и остварити мање подсистеме који би делимично независно извршавали праћење стања над ужим простором те, према потреби, контролу процеса. Ако је број система склопова са сензором велик па постоје и други подсистеми, они се међусобно могу повезати преко рачунара више нивоа, све до спрезања рачунара која су у надзору с оним који је задужен за глобални приказ, планирање и анализу читавог постројења.

3. БЕЖИЧНЕ СЕНЗОРСКЕ МРЕЖЕ

Прва праћења стања котрљајних кугличних лежајева помоћу бежичних сензорских мрежа WSN (*Wireless Sensor Networks*) појавила су се пре тридесетак година. Разлози данас све више заступљености употребе бежичних сензорских мрежа јесу економске природе, јер се остварују уштеде од 20 до 80 % у односу на жичане сензорске мреже. Треба напоменути да је цена развода жичаних сензорских водова од 130 до 650 \$/m' инсталиране опреме.

Бежичне сензорске мреже убрајају се у микросензорску технологију. Обрада сигнала малих снага рачунања и мале цене су основне предности ових система. Оне осигуравају дистрибуирану мрежу и интернетски (мрежни) приступ сензорима и контролним сензором смештеним дубоко у опреми у индустријском постројењу. То омогућава стотинама склопова са сензором да се међусобно повезују у мрежи ради остваривања задатака на праћењу стања лежајева.

Данас су бежичне микросензорске мреже препознате као једно од најважнијих подручја технологија 21 века. Мрежна микросензорска технологија је описана као, скуп јефтиних, малих, паметних уређаја, који на себи имају мноштво сензора, а комуницирају бежичним везама и интернетом, а распрострањени су у великом броју и погодни су за надзирање машина процеса, кућа, градова итд. Врло су погодни и за најразличитије војне примене, као што су извиђање и надзор. Паметни микросензори могу бити инсталирани на: земљи, у ваздуху, води, на телу, возилима у зградама итд. Сваки сензорски чвор садржи способност процесирања података, те има потенцијално велики број сензора који раде у акустичном, инфрацрвеном, сеизмичком или магнетном моду, те могу садржавати микрорадаре. Такође, имају на себи уграђену меморију за прикупљање података, линкове на суседне чворове одн. информације о позицији коју добијају преко GPS мреже. Мрежни микросензори припадају групи сензорских мрежа, које користе дистрибуиране сензоре за прикупљање информација на машинама (погонима) од значаја.

У централизованим системима сви су појединачни надзорни системи повезани са централним рачунаром који спроводи целокупну дигиталну обраду сигнала. Често је потребно да сви подаци са свих сензорских јединица буду доступни на једном месту, а њихово се прикупљање може организовати и као хијерархијски процес, [4].

Бежични сензори омогућавају у неким случајевима немогућу употребу сензора, попут надгледања опасних, ризичних, повезаних и удаљених предела и локација. Ова технологија пружа готово неограничену флексибилност инсталација сензора и повећану поузданост мреже. Додатно, бежичне технологије умањују трошкове и сложеност одржавања, [5].

Још једна предност бежичних сензора је и њихова мобилност. Ови сензори могу бити смештени у транспортна возила ради надгледања средине у покрету. Такође могу бити постављени и на ротирајућу опрему, попут осовине, да би се измерили неки битни параметри, [7].

Већина бежичних сензора има појачаваче и обрађиваче сигнала инсталиране на месту где су и сами сензори и сигнал емитују у дигиталном облику. Услед тога, појава шума постаје мање битан проблем. А наравно, пошто су каблови отклоњени из процеса преноса података, поузданост сигнала је повећана, [7].

Данашњи развој бежичних сензора толико је напредовао да већ постоји и низ комерцијалних сензора малих димензија са могућношћу примене, као склопа са сензором у котрљајном кугличном лежају.

Развој сензорских мрежа потпомогнут је развојем трију засебних научних грана: сензора, дистрибутивних мрежа и рачунарске технике. Развој сваке од ове три гране, посебно и заједнички, упоредо су развијале и подручје сензорских мрежа.

Тренутне и потенцијалне бежичне сензорске мреже нашле су или ће наћи примену у неким од следећих привредних грана: пољопривредној и прехрамбеној индустрији, војној индустрији, заштити објеката, ваздушној контроли, надзору превоза, видео надзору, индустријској производњи, аутоматизацији и роботизацији итд.

Софтверске захтеве за бежичним сензорима чине: (1) мала штампана плоча за рад са малим процесорима, (2) ефикасна употреба енергије, (3) способност

вишеструке обраде података, (4) висока модуларност и (5) поуздано ад хок умрежавање које захтева мале енергетске ресурсе. "Tiny OS" оперативни систем, који је у фази развитка, служи као добар пример таквог софтвера, [12].

Пре неколико година *IEEE* и *NIST* (*National Institute for Standards and Technology*) донели су P1451 стандард за чисту *Plug and play* примену у индустријском окружењу. Фирме настављају с аутоматизацијом производње и повезивањем линија производње помоћу даљинских сензорских мрежа уз *on-line* контролу коју омогућују сензори.

Бежичне мреже склопова са сензором, поуздане су у раду, поседују високу тачност и ниску цену. Једноставна инсталација и монтажа чини их погодним за примену у индустријским постројењима. Они омогућују управљање производњом уз услов да осигура и одржава подређивање општој сигурности производње уз смањење трошкова производње.

Бежични сензори напајају се батеријски, тако да енергијска ефикасност модула има директан утицај на радни век склопа са сензором. Повезаност склопова са сензором у мрежи може имати и негативан утицај када модул престане с радом, у том случају не престаје само његово прикупљање података, него и читава мрежа губи расположивост да преко њега даље прослеђује (рутира) податке. Због тога енергетски учинак има директан утицај на то колико ће дуго индивидуални склоп са сензором, али и читава мрежа, успешно функционисати.

Мале димензије склопа са сензором неопходне су како не би утицале на њене резултате. Њихова величина и тежина доминантно су одређене величином и тежином батерије, при чему је захтев за малим димензијама батерије обратно је пропорционалан њеном радном веку. Зато сензори морају имати велики учинак, јер би честе промене батерије повећале трошкове надзора и одржавања. Највише енергије троши се на радијску комуникацију. Неопходно је да се и обрада података проводи на висини сензора јер се тако и продужује трајање батерије.

Основне предности бежичних сензорских мрежа у односу на жичане јесу:

- мрежа може бити проширена до места која не могу бити повезана жичаном инсталацијом,
- бежичне мреже пружају већу флексибилност и лакше се адаптирају на промене у конфигурацији мреже,
- смањење властитих трошкова, (док почетно улагање захтевано за бежичне мреже може бити велико, трошкови целокупне инсталације и трошкови њиховог "доживотног" одржавања могу бити значајно нижи у динамичким срединама),
- снага са којом сензори раде знатно је нижа од најмање снаге која може бити узрочник паљења и појаве експлозије у експлозивним погонима и
- конфигурације мрежа могу по потреби бити лако промењене од мрежа за мали број опреме до великих инфраструктурних мрежа које омогућују праћење стања широког подручја.

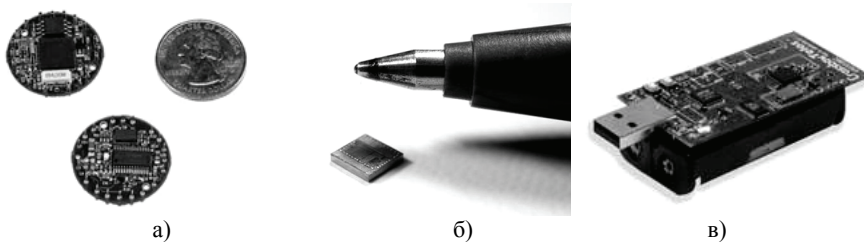
Ограничења која треба узети у обзир код употребе бежичних мрежа јесу:

- отказ једне сензорске јединице не сме утицати на рад целокупне мреже,

- примењени механизам треба бити прилагодљив широком подручју димензија мрежа,
- трошкови појединачних склопова са сензором требају бити нижи и
- потрошња енергије треба бити на минималним вредностима како би се проширио користан радни век мреже.

Свака бежична сензорска мрежа има свој чвор (мот). Саставни делови сваког мота су: процесор, RF примопредајник (радио), сензорска плоча, флеш меморија (*EEPROM*) и напајање (батерије).

Радио примопредајник и процесор се налазе на истој плочи (радио-процесорска плоча). Микропроцесор је језгро мота. Он надгледа сензоре од којих добија податке о атрибутима средине и радио примопредајником их шаље према другим мотовима. На сензорској плочи се могу налазити: оптички и фото сензор, пиезоелектрични сензор, термистор и сензор покрета. Што ће рећи, да се помоћу ових сензора могу добити информације о температури, влажности ваздуха, осветљењу, интензитету звука, детектовању покрета, или мерења убрзања. Сваки сензор има компоненту која представља његову софтверску апстракцију и која се може укључити у било коју конфигурацију и користити по потреби програмера. Хардверске компоненте преко којих се врши програмирање мотова су програматорске плоче. Неки од актуелних минијатурних мотова приказани су на сл. 1.



Сл. 1. Примери бежичних сензорских мотова

На сл. 1а. приказан је мот *Mica2dot*, чије су основне карактеристике:

- процесорски чип *ATmega 128L*, чип је 8-мо битни, радне фреквенције од 4 MHz,
- програмска меморија величине 128 Kb (4 Kb SRAM-а),
- 18-пински мушки конектор са 10-битним A/D конвертором који служи да се плоча прикључи на програматор или да се на њега прикључи сензорска плоча и
- радио антена *CC1000* са FSK модулацијом и радном фреквенцијом од 433 MHz.

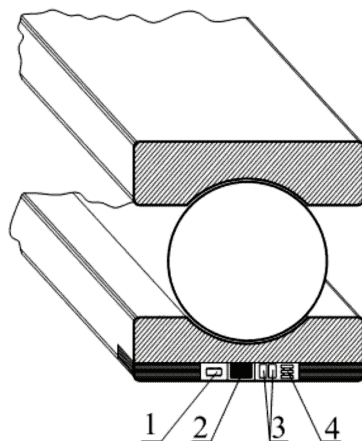
Тренутно у фази истраживање на новој "Спец" платформи која интегрише функционалност „Mica“ на 5 mm чипу. "Спец" платформа састоји се од микро радија с аналогно-дигиталним претварачем и температурним сензором на једном интегрисаном склопу који има утрошак енергије од само једне тридесетине постојећих интегрисаних склопова, сл. 1б. Тај је склоп са једним сензором потпуно прикладан да постане комерцијалан.

На сл. 1в приказан је "Telos"-ов мот, који има следећи низ нових могућности:

- микроконтролер од "Texas Instrumentsa" са 3 mW активном енергијом и 15 kW у спавајућем моду,
- унутрашњу антену уграђену у плочицу ради смањења трошкова,
- спољни USB прикључак за повезивање с рачунаром,
- интегрисани сензор температуре и сензор влажности и
- јединствену адресу ради препознавања сваке поједине надзорне тачке.

Умрежавање великог броја интелигентних сензора омогућава мониторинг и контролу врло широког опсега апликација као што је нпр. индустријско праћење процеса рада, а у које засигурно спада и контрола стања котрљајних кугличних лежајева.

На сл. 2 приказан је један од примера места уградње бежичног сензора на кугличном лежају који се састоји од: 1- микропроцесора, 2- сензора, 3- батерија и 4- телеметријског (надзорног) система, [5].



Сл. 2. Распоред елемената бежичног сензора у кугличном лежају

Компоненте једног склопа са сензором на котрљајном кугличном лежају састоје се од: сензора (који прикупља податке), процесне јединице (која контролише рад сензора), комуникацијске јединице (примопредајника) која предаје своје прикупљене податке, јединица за напајање енергијом и софтвера који дефинише унапред одређене поступке за прикупљање, обраду и прослеђивање података.

Применом бежичних сензорских мрежа у индустријским постројењима у циљу праћења стања над котрљајним лежајевима, засигурно би се придонело смањењу трошкова и унапређењу одржавања те побољшању перформанси код машина, а тиме и значајном повећању сигурности фабричких погона. Шематски приказ надзора температуре кугличних лежајева помоћу бежичне (wireless) везе између склопа са сензором и надзорног пулта управљања, приказан је на сл. 3.



Сл. 3. Шематски приказ надзора температуре кугличних лежајева помоћу бежичне (wireless) везе између склопа са сензором и надзорног пулта управљања

4. КОМУНИКАЦИЈСКЕ НОРМЕ КОД БЕЖИЧНИХ МРЕЖА

Део бежичних сензорских мрежа за прикупљање података чини велики број аутономних мулти-функционалних сензорских чворова распоређених дистрибуирано у сензорском пољу. Ове мреже могу користити различите бежичне технологије преноса, у зависности од растојања и протока (Bluetooth, ZigBee, Wireless LAN, Wi-Max, 3G и др.). Најзаступљенији у пракси је стандард за уређаје са малом потрошњом енергије, за мале домете до ~50 m и мале протоке до 250 kb/s. Комуникација унутар мреже одвија се према захтевима појединих норми. То придонио смањењу трошкова као и једноставности надоградње и повезивања са другим системима управљања. Бежичне мреже по норми IEEE 802.11 осигуравају перформансе сличне онима у жичаним мрежама [8].

Уочени низ предности, попут ниских цена утицале су на установљење нових норма IEEE 802.15 која се односи на тзв. личне мрежне системе (*PANs*) који имају допуштени радијус од 5÷10 m. Мреже склопова са сензором кратког домета погодне су за PAN системе. IEEE подстиче развој алгоритама и технологија за развој таквих система. Такође долази до пада енергетских захтева по биту информације, за процесирање и комуникацију. Норме бежичних мрежа које се у пракси појављују су:

- бежични LAN (IEEE 802.11x),
- bluetooth (IEEE 802.15.1 и 2) и
- стандард (IEEE 802.15.4).

Бежични LAN (IEEE 802.11x) је норма која је првенствено намењена локалној мрежи са размерно високом ширином појаса између рачунара и осталих уређаја. Брзина преноса података је од 1÷50 Mbps. Уобичајено преносно подручје је 100 m са стандардном антеном. Назива се још и Wireless LAN технологија преноса (*WLAN*).

Након спајања уређаја са другим уређајима комуницира се преко TCP/IP протокола. "Технологија картице" ради већом снагом и троши више енергије у односу на bluetooth. Десет су пута скупљи од bluetoothа.

Bluetooth је лична просторна мрежа (*Personal Area Network - PAN*) која поседује мању снагу од норми IEEE 802.11. Првобитно је замишљена да опслужује апликације за пренос података између рачунара и периферних јединица као што су нпр. мобилни телефони и др. Сматра се достојном заменом за мобилне уређаја и углавном је предвиђен да максимизира функционалност мреже. Кад су одређене

фирме инсталирале мрежу на бази bluetooth технологије, сусреле су се са одређеним ограничењима везаним за bluetooth протокол, укључујући следеће:

- -размерно висока снага за мало подручје преноса података,
- одређене склопове са сензором дуже време синхронизације са мрежом кад се враћају из одређеног "sleep" стања које повећава просечну снагу система и потрошњу енергије и
- мали број склопова са сензором по мрежи (сса < 7).

Код bluetooth технологије излазна снага је врло мала, што минијатурнијим уређајима посебно погодује због мале потрошње електричне енергије. Тренутна производна цена bluetooth чипа мања је од 10 долара. Услуга bluetoothа је бесплатна јер се налази у 2.4 GHz бесплатном лиценцираном појасу коришћењем FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) приступа. Тренутно омогућује брзине преноса од 2 Mbps и подручје домета од 200 m у унутрашњим просторијама, [10, 11].

Стандард (IEEE 802.15.4) је норма која је специјално пројектована за захтеве бежичних мрежа склопова са сензором. Тај је стандард врло флексибилан те поседује одређене вишеструке брзине преноса и вишеструке преносне фреквенције. Захтеви за снагом су умерено мали. Норма поседује следеће карактеристике:

- преносну фреквенцију 868 MHz / 902÷928 MHz / 2,48÷2,5 GHz,
- брзину преноса података 20 Kbps (868 MHz band) 40 Kbps (902 MHz band) и 250 Kbps (2,4 GHz band),
- повезивање до 255 уређаја у једну мрежу,
- потпун протокол за поузданост система,
- имају допуштени радијус од 5÷10 m и
- подржавају умреженост у облику звезде и повезаност "сваки са сваким".

ZigBee технологија преноса темељи се на IEEE норми 802.15.4, али се та два појма често поистовећују. ZigBee је бежични комуникацијски протокол намењен личним мрежама с малом пропусношћу и малом потрошњом енергије. Циљне примене ZigBee су апликације које захтевају умрежавање великог броја уређаја, пренос мале количине података, малу потрошњу енергије те високу сигурност преноса.

ZigBee је посебно фокусиран на потрошњу енергије те му је циљ да уређаји раде годинама с истим јефтиним батеријама. Подручје преноса је од 10÷100 m, зависно од излазне снаге и карактеристика средине.

5. ЗАКЉУЧАК

Циљ коришћења бежичних сензорских мрежа на бази телекомуникационих технологија у дијагностици котрљајних лежајева јесте повећање расположивости и поузданости рада машина, праћење стања машина и предузимање по потреби даљих мера одржавања. Посебна оправданост уграђивања ових сензорских јединица била би на машинама неприступачним човеку, с циљем надзора појединих параметара (температуре, вибрација, притиска и количине уља итд.). У том ће случају ће бежична мрежа склопова са сензором остати углавном неактивно

дуго времена, а затим ће постати активна уколико се нешто детектује или се појави нека алармна вредност.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ашоња, А., Адамовић, Ж.: Одржавање котрљајних лежајева, Дуга књига, Сремски Карловци, 2010.
- [2] Ашоња, А., Адамовић, Ж., Глигорић Р.: Избор и димензионисање котрљајних лежајева, Дуга књига, Сремски Карловци, 2010.
- [3] Ашоња, А., Глигорић, Р.: Истраживање века трајања котрљајних лежаја, Летопис научних радова Пољопривредног факултета, Пољопривредни факултет, Vol. 29, No.1, 78- 84, Нови Сад, 2005.
- [4] Ашоња, А., Глигорић, Р., Крунић, В.: Тенденције развоја котрљајних лежајева на пољопривредним машинама, часопис "Техничка Дијагностика", Друштво за енергетску ефикасност Босне и Херцеговине, Vol. 1, No. 1-2, 5-10, Бања Лука, 2009.
- [5] Brian, T. Holm., Robert X. Gao.: Vibration Analysis of a Sensor-Integrated Ball Bearing, Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 122, No. 4, pp.384-392, 2000.
- [6] Brown-Brandl, T. Yanagi, H. Xin, R.S. Gates, R. Bucklin and G. Ross, Telemetry system for measuring core body temperature in livestock and poultry. ASAE Paper No.: 01-4032, The American Society of Agriculture Engineers, St. Joseph, Michigan, 2001.
- [7] Ољача, М., и сар.: Техничка решења уређаја и опреме за повећање сигурности мобилних машина и трактора у пољопривреди, Пољопривредна техника, Пољопривредни факултет Београд, Vol. 33, No. 1, 7-20, Београд, 2009.
- [8] Rumbek, S.: Istraživanje učinka oštećenja kotrljajnog ležaja u eksplozivnoj atmosferi, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009.
- [9] SKF, Rolling bearings in electric motors and generators, A handbook for the industrial designer and end-user, Publication 5230 E, 2004.
- [10] Hill, J. L.: System Architecture for Wireless Sensor Networks, Ph. D. Dissertations, University of California, Berkeley, 2003.
- [11] Callaway, E. H.: Wireless Sensor Networks, Architectures and Protocols, Auerbach Publications, A. CRC Press Company, 2004.
- [12] Crossbow Technology Inc., Smart Dust/Mote Training Seminar, Crossbow Technology, Inc., San Francisco, July 22-23, California, 2004.

THE WIRELESS SENSOR NETWORKS IN THE DIAGNOSTICS OF ROLLING BEARINGS

Aleksandar Ašonja¹, Danilo Mikić²

¹"NS-Termomontaža" doo - Novi Sad

²Technical school "J. Žujović"- Gornji Milanovac

Abstract: This paper provides an overview of several norms of communication in wireless sensor networks that are used in the diagnostics of roller bearings. There are list

the basic economic and operational benefits that affect the choice of these systems, the benefits of using wireless sensor networks compared to the wire, as well as their possible limitations in use. The characteristics of several examples of actual sensory mott used to roller bearings. One example of the place of installation of wireless sensors on rolling bearing his number and arrangement of elements is analyzed in detail.

Keywords: *the wireless sensor networks, diagnostics, the roller bearings*