

## ВИШЕСТРУКИ ЗНАЧАЈ СЕНЗОРА И ЊИХОВА ПРИМЕНА

*Драган Растовац<sup>1</sup> Божо Илић<sup>2</sup>*

**Резиме:** Савремени токови технолошког унапређивања имају свој одзив не само у непосредној производњи већ и у њеним контролним процесима. Самим тим и сензорски уређаји су унапређени на својим старим позицијама а пронашли су и своје место у одређеним новим улогама. Циљ истраживања рада је кратак преглед примене сензорских уређаја у аутомобилској, прехранбеној и пољопривредној индустрији, медицинској рехабилитацији, као и бежичних сензорских мрежа за праћење стања конструкција. У овом раду је употребљена дескриптивна метода за анализу радова из наведених области примене сензорских уређаја и њихових технологија. Анализом је обухваћено шест најновијих прегледних радова.

**Кључне речи:** технологија, сензорски уређаји, анализа, примена, преглед.

## MULTIPLE IMPORTANCE OF SENSORS AND THEIR APPROACH

**Abstract:** Modern trends in technological improvement have their response not only in direct production but also in its control processes. As a result, sensor devices have been upgraded to their old positions and have found their place in certain new roles. The aim of the research is a brief overview of the application of sensor devices in the automotive, medical rehabilitation, food and agricultural industries, as well as wireless sensor networks for monitoring the condition of structures. In this article, a descriptive method was used for the analysis of articles from the previously mentioned areas of application of sensor devices and their technologies. The analysis includes six recent review articles.

**Key words:** technology, sensor devices, analysis, implementation, review.

### 1. УВОД

Све већим развојем технике и технологије сам процес производње захтева учешће интелегентних склопова који међусобну комуникацију остварују посредством дигиталних уређаја. Неопходно је обезбедити уређаје са беспрекорном везом, интероперабилности, видљивошћу и обавештајним могућностима. Напредне производне стратегије, попут интелегентне и флексибилне производње, имају потенцијал да превазиђу недостатке традиционалне производње. Овакав приступ представља почетак паметне производње, где машине и производи међусобно делују без или уз минималну контролу људи [1], [2].

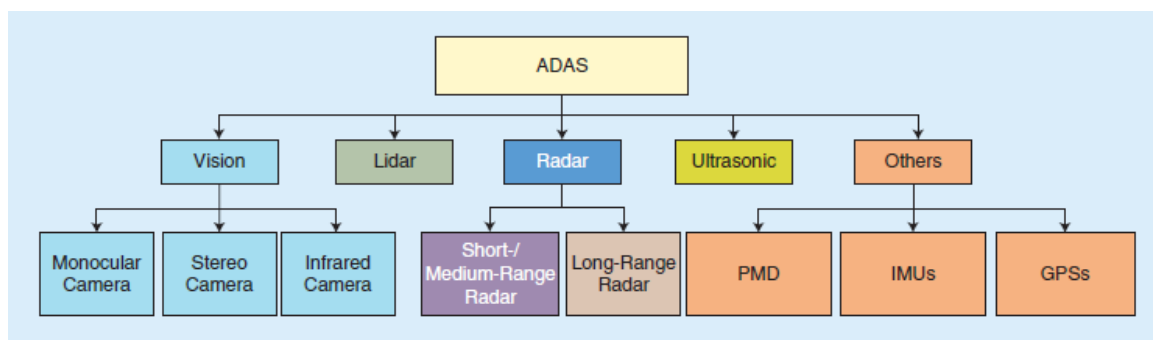
Сензори играју кључну улогу у бројним савременим индустријским апликацијама, укључујући прераду хране, свакодневно праћење активности као што су транспорт, квалитет ваздуха, медицинска терапија итд. Сензорски уређаји су са нама више од једног века, док савремени сензори са интегрисаним информационо-комуникационим технологијама (ИКТ) - паметни сензори, постоје нешто више од три деценије. Значајно унапређење постиже се интеграцијом рачунара и његових могућности: складиштења, управљању енергијом, опцијама повезивања и окружењима за развој софтвера. Овај напредак се догодио паралелно са еволуцијом способности самих сензора. Били смо сведоци појаве биосензора који се сада налазе у разним потрошачким производима, као што су тестови за трудноћу, холестерол и алергије [3].

<sup>1</sup> доктор електротехнике и рачунарства, ВТШ Нови Сад, rastovac@vtsns.edu.rs

<sup>2</sup> доктор техничких наука, ВТШ Нови Сад, bozoilic66@gmail.com

## 2. ПРИМЕНА СЕНЗОРА – ПОЈМОВИ И ОБЈАШЊЕЊА

Структуру аутоматског система у аутомобиле чине три категорије: перцепција околине, планирање понашања и извршење покрета. Возило употребом различитих сензора, као што су камере, Lidar-и и радари добијају информације о свом окружењу (познати су још под називом екстероцептивни сензори) [4], [5]. На слици 1 налази се структура напредног система заштите и помоћи возачу при вожњи (Advanced Driver-Assistance Systems- ADAS). Иако се за функције паркирања возила нашироко користе ултразвучни сензори, они су од мањег, али не и небитног, значаја за саму вожњу. Возила која имају аутономије од три па навише, за обављање својих функционалних захтева, имају потребу за фузијом сва три наведена типа сензора. Сензорима управља електронска контролна јединица (Electronic Control Unit, ECU) [6]. Код аутоматског управљања возилом битан аргуменат је укључивање радарског сензора. Радари могу да „виде” у веома неповољним условима (обезбеђују детекцију скоро подједнако добра са снегом, кишом, маглом или прашином), где ниједан други сензор не ради [7]. Lidar је активна техника детекције удаљених објеката, која користи ласерско светло. Lidar оптички мерни инструменти мере повратно време ласерске енергије између сензора и објекта [8]. Када је реч о усклађивњу праћеног објекта у датом тренутку са његовим праћењем из претходног временског циклуса употребом процене сличности користи се: метод најближег суседа [9], Хаусдорфово растојање [10], Бернулијев филтер [11] и слично.



Слика 1 - Структура напредног система заштите и помоћи возачу при вожњи [12]

За разлику од аналитичких метода, Раманова спектроскопија се показала као брза и неструктивна метода за детекцију хемијског састава биљних узорака. Ако су познате фреквенције  $\nu_0$  и  $\nu_i$ , разлика у таласним дужинама биће:

$$\Delta\nu = |\nu_0 - \nu_i| \quad (1)$$

где су:

$\nu_0$  - фреквенција упадног снопа

$\nu_i$  - фреквенција рамански расејаног зрачења

Детекција вибрација у молекулима заснована су на Рамановој инфрацрвеној апсорпцији и процесима расејања. На тај начин добијају се информације о хемијској структури и физичким својствима, за идентификацију супстанци са карактеристичним спектралним узорком и за квантификацију количине супстанце у узорку. Један од кључних фактора је могућност тестирања узорака у било ком физичком стању: чврстом, течном и гасовитом. Температура као и друга физичка својства нису битни [13].

Адултеранти постоје у храни и другим супстанцама и једном речју „угрожавају” њихов квалитет односно (додају се супстанцама како би се повећала њихова количина, а самим тим долази до смањења квалитета).

## КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференција напредне технологије у функцији развоја привреде, Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

„Биљке у току раста и развића могу да буду изложене бројним екстремним чиниоцима који изазивају стресно стање, које код биљака изазива промене које одступају од нормалног стања. Стресно стање код биљака могу да изазивају антропогени чиниоци (загађења и др.) и природни, еколошки чиниоци. Од природних чинилаца код гајених биљака стресно стање најчешће изазивају недостатак воде и екстремне температуре” [14; стр. 227].

Инфрацрвена спектроскопија се, у зависности од области таласних дужина које користи, дели на: блиску инфрацрвену (NIR–near infrared), средње инфрацрвену (MIR–midle infrared) и далеку инфрацрвену (FIR–far infrared) ([15]; табела 2). Спектар у NIR области настаје када блиско инфрацрвено зрачење вибрира на истој фреквенцији као и молекуларне групе у испитиваном узорку. Блиски инфрацрвени зраци, чија се фреквенција поклапа са природном фреквенцијом молекула, могу предати своју енергију молекулу при чему он прелази из основног на више енергетско стање. На тај начин су омогућени само они прелази између суседних енергетских нивоа ( $\Delta_v = \pm 1$ ) [15; стр. 32-33], [16].

Фузија података (ДФ) представља комбинацију података са више сензора и информација од значаја добијених из придружених база података како би се постигла побољшана прецизност и специфичнија закључивања него што би се то могло постићи у случају само једног сензора као извора [17], [18].

Сензорске рукавице (слика 2) су најчешће истраживане у апликацијама попут роботике а последњих деценија су добиле све већи значај у медицинским применама. Различити сензори, попут сензора оптичких влакана, сензора отпора и инерцијалне мерне јединице, могу се користити у сензорским рукавицама за праћење покрета руку и способни су да мере савијање, кретање, ротацију и положај руке. Најзначајнији параметри за рехабилитацију шаке су измерени углови зглобова [19 - 21].



Слика 2 - Neofect's паметна рукавица Raphael [22]

### 3. СЕНЗОРСКЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ – АКТУЕЛНИ ПРЕГЛЕД СТАЊА

Аутори у [23] представили су преглед сензорских технологија које се користе за даљинско управљање копненим возилима (ДУКВ), како у цивилном тако и у војном домену. Имајућу у виду да су за ефикасан рад ДУКВ -а сензори високе прецизности и високе поузданости од великог значаја. Дата је анализа екстероцептивних сензора: Lidar, радар, ултразвучну, монокуларну камеру, стерео камеру, оми-дирекциону камеру, термалну (инфраред) камеру и камеру за догађаје (event). Извршена је и практична реализација детекције објеката применом наведених сензора, уочене су одређене предности као и недостаци који су представљени у ([23]; табеле 2, 3, 4, 5). У трећој секцији рада (табела 6) представљено је неколико постојећих ДУКВ-и, са акцентом на примену сензора у оквиру сваке платформе (њихове основне информације и перформансе тестирања). На крају аутори закључују да још увек постоји много аспеката које

## КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференције напредне технологије у функцији развоја привреде, Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

треба побољшати око сензора који се примењују у ДУКВ-у, а самим тим је од великог значаја за истраживачке вредности.

У раду [24] дат је преглед избора и распореда сензора, који представљају кључни фактор, аутоматизованог система вожње на јавним путевима. Анализирани системи се ослањају на информације које дају сензори у возилу, који омогућавају да се опише стање возила, његовог окружења итд. Акцент је дат на уобичајене задатке перцепције за аутоматски систем вожње (АСВ) и аутоматизовану вожњу. Посматрани су визуелни (artificial vision), радар и Lidar сензорски системи. Визуелни системи пружају неколико типова информација укључујући просторне (облик, величина, растојања), динамичке (кретање објеката анализом њиховог померања између узастопних фрејмова) и семантичке (анализа облика). Код радарских система циљна група били су резолуција и тачност и осетљивост на рефлексију. У случају Lidar система аутори су били усмерени на анализу: ниске вертикалне резолуције, лошој детекција тамних и малих објеката и утицај временских услова на рад. Преглед технолошких решења и комерцијалних платформи везаних за аутоматску вожњу у радовима објављеним од 1980. године до маја 2018. године дат је у [24] (секцији 4, слика 3).

Површински побољшане Раманове спектроскопије (surface-enhanced Raman spectroscopy - SERS) за анализу или детекцију у биомедицинске, пољопривредно-прехранбене и технолошке примене у период 2015-2020 година анализирали су [25]. Преглед примене засноване на SERS-у у анализи пољопривредне хране аутори су дали у оквиру: детекција хранљивих материја и стреса биљака, детекција маркера стреса биљака, детекција загађивача и хемикалија (детекција пестицида, детекција загађивача и токсина, детекција адултерантних материја и хемикалија), детекција патогена који се преносе храном. Када је реч о биомедицинским анализама заснованим на SERS-у у преглед су укључени: детекција нуклеинских киселина, протеина, вируса, бактерија, комплетних ћелија, детекција јона и малих молекула. Величина фактора побољшања, величина ефективног пресека SERS-а је кључно питање за његову примену као средства за ултрасензитивну детекцију [26]. На крају [25] закључују да SERS пружа јединствену предност у пружању високе осетљивости у својим уграђеним богатим молекуларним информацијама због спектра вибрационих отисака прстију који показују да је супериоран у односу на друге конвенционалне оптичке спектроскопске технике као што су флуоресценција и UV/Vis апсорпциона спектроскопија.

Аутори у [27] представљају најсавременији преглед технологија проксималног сензора земљишта за посматрање и “online” мерење укупног азота (TN) и минералног азота (N) у земљишту. Анализа је усмерена на блиску инфрацрвену спектроскопију (vis-NIRS) и средњу инфрацрвену спектроскопију (MIRS), које се успешно користе код посматрања и “online” мерних платформи за одређивање укупног азота. Преглед се такође фокусира на приступе фузије података (ДФ) не само да би се побољшао ефекат претпостављања укупног азота у односу на NIRS и MIRS спектроскопије, већ и да би се разграничиле зоне управљања азотом специфичним за локацију. Утврђено је да су електрохемијски сензори као што су јонско-селективне електроде или јонски селективни транзистори са ефектом поља најпогоднији за мерење садржаја минерала азота. Међутим, откривено је да су обе сензорске технологије тешке у случају употребе за “online” мерења јер захтевају припрему земљишног раствора и потребно је довољно временско кашњење да би се достигао стабилан ниво. Закључак аутора је да се истраживање проксималног сензора тла за мерење азота у земљишту треба фокусирати на развој робусних и тачних сензора за посматрање и „online” мерење садржаја минерала азота, док се препоручује употреба напредног моделовања ДФ технике.

Области истраживања медицинске рехабилитације и клиничке процене указују на велике примене за уређаје за сензоре који се могу носити а њихова преглед представљен је у [28]. Аутори су анализирали различите рукавице са подацима који обухватају период од раних 1970-их, фокусирајући се на кључне карактеристике система заснованих на рукавицама за процену функције руку. У модерној ери, развијене су и имплементирани напредне технологије за решавање проблема у вези са универзалним гониометром, али су ограничене у погледу трошкова, носивости и тачности. Овај рад даје ажурирани преглед сензора и типова рукавица

## КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференција напредне технологије у функцији развоја привреде, Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

предложених у литератури како би се помогло у дијагностици и рехабилитационим активностима реуматоидног артритиса. Као резултат тога, општи циљ овог истраживања је да се прегледају тренутне технологије сензора које би се могле користити за мерење тежине реуматоидног артритиса код појединца. Неки од сензора које аутори представљају су: UU/Tyndall accelerometers, Adafruit ADXL335, Adafruit MPU-6050, IMU sensors (LSM9DS1 and MPU-9250). Поређење популарних линеарних сензора дато је у табели 1 рада [28].

Аутори у [29] представили су савремени преглед искуства које су истраживачи стекли применом бежичних сензорских мрежа (Wireless sensor network - WSN) за праћење стања конструкција (Structural health monitoring - SHM). Ова техника се употребљава у различитим врстама објеката путем детекције, локализације и процене оштећења у ранијим фазама, а резултат је повећање безбедности и смањење трошкова одржавања. Функција сензора који се користе у SHM-у (као што су убрзање, померање и напон) је праћење не само стања конструкција већ и параметара животне средине, укључујући влажност, брзину ветра и температуру. Самим тим, што је више локација сензорских чворова лоцираних на конструкцији, добијају се детаљније информације о стварном стању конструкције. Такође су представљене технологије жичаних и бежичних сензорских система које обједињују истраживања заједно са архитектуром бежичног сензорског чвора, функционалношћу, комуникационим технологијама и популарним оперативним системима. Затим је дат преглед апстраката (кратких описа) најсавременијих академских и комерцијалних технологија бежичних платформи које се користе у лабораторијским тестовима и теренским тестовима за апликације за праћење стања конструкција. Поређење WSN и SHM сензорског система, поређење структуре WSN и SHM прототипова бежичних мрежа за посматрање у период 2005-2019 година, кратак преглед популарних комерцијалних бежичних сензорских платформи и најновијих платформи које се користе за SHM, кратак преглед примене WSN-а за SHM са узимањем у обзир високе стопе узорковања дат је у ([29]; табела 1, табела 2, табела 3, табела 4) ретроспективно.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Овај рад даје преглед развоја и примене сензорских уређаја у аутомобилској, прехранбеној и пољопривредној индустрији, медицинској рехабилитацији, као и бежичним сензорским мрежама за праћење стања конструкција. Представљен је општи оквир за сензорске уређаје и истакнути су главни научни радови које пружају преглед њихових најновијих технолошких достигнућа. Избором и анализом дат је приказ широког спектра примене сензорских уређаја попут: различитих показивача и управљача у аутомобилима, утврђивању састава и структуре земљишта, молекула прехранбених производа, уграђивањем у медицинска помагала. На крају се може донети закључак да нова технолошка ера и развијено друштво не могу бити самостални, већ поред себе морају имати сензорске уређаје. Они својим доприносом подстичу неке нове иновације које само могу да побољшају развој друштва у целини.

## 5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Peteinatos, G. G.; Weis, M.; Andújar, D.; Rueda Ayala, V.; Gerhards, R.: *Potential use of ground based sensor technologies for weed detection. Pest management science*, 70(2), 190-199, 2014.
- [2] Tortorella, G.L.; Giglio, R.; Van Dun, D.H.: *Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement*. Int. J. Oper. Prod. Manag. 39, 860–886, 2019.
- [3] McGrath, M. J.; Scanaill, C. N.: *Sensor technologies: healthcare, wellness, and environmental applications* (p. 336). Springer Nature, 2013.
- [4] Behere, S.; Torngren, M.: *A functional architecture for autonomous driving*, in Automotive Software Architecture (WASA), 2015 First International Workshop on. IEEE, pp. 3–10, 2015.
- [5] Marti, E.; De Miguel, M. A.; Garcia, F.; Perez, J.: *A review of sensor technologies for perception in automated driving*. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 11(4), 94-108, 2019.

## KONFERENCIJE SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM

38. Konferencija održavala se u Srbiji i 1. Konferencije napredne tehnologije u funkciji razvoja privrede,  
Vrnjačka Baňa, 01.06. – 03.06. 2022. godine

- [6] Three Sensor Types Drive Autonomous Vehicles“, FierceElectronics. <https://www.fierceelectronics.com/components/three-sensor-types-drive-autonomousvehicles> (pristupljeno 21.03.2022).
- [7] Reina, G.; Johnson, D.; Underwood, J.: *Radar sensing for intelligent vehicles in urban environments*, Sensors (Switzerland), vol. 15, no. 6, pp. 14661–14678, 2015.
- [8] Dubayah, R. O., Drake, J. B.: *Lidar remote sensing for forestry*. Journal of forestry, 98(6), 44-46, 2000.
- [9] Sinha, A.; Ding, Z.; Kirubarajan, T.; Farooq, M.: *Track quality based multitarget tracking approach for global nearest-neighbor association*. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 48(2), 1179-1191, 2012.
- [10] Le, W.; Chen, L.; Zhou, J.; Zhang, W.: *Automatic moving object tracking algorithm based on the improved hausdorff distance*, Electronic Measurement Technology, 2014.
- [11] Reuter, S.; Vo, B. T.; Vo, B. N.; Dietmayer, K.: *The labeled multi-Bernoulli filter*. IEEE Transactions on Signal Processing, 62(12), 3246-3260, 2014.
- [12] Kukkala V. K.; Tunnell, J.; Pasricha S.; Bradley T.: *Advanced Driver-Assistance Systems: A path toward autonomous vehicles*, IEEE consumer electronics magazine, str.18- 25, 2018.
- [13] Smith, E.; Dent, G.: *Modern Raman spectroscopy*, Wiley, Chichester, West Sussex, 2005.
- [14] Kastori, R.; Ilin, Z.; Maksimović, I.; Putnik-Delic, M.: *Kalijum u ishrani biljaka-kalijum i povrće-Potassium in plant nutrition potassium and vegetables*, 2013.
- [15] Todorović, N.: *Primena bliske infracrvene spektroskopije u predviđanju svojstava termički modifikovanog drveta bukve sa lažnom srčevinom*. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, 2012.
- [16] Antić-Jovanović, A.: *Molekulska spektroskopija: Spektrohemijski aspekt*. Fakultet za fizičku hemiju, 2002.
- [17] Bogdanović-Dinić, S.; Veljković, N.; Stoimenov, L.: *Primena modela za fuziju podataka sa heterogenih izvora u ginisense arhitekturi*, INFOTEH-JAHORINA Vol. 10, Ref. E-II-2, p. 534-538, 2011.
- [18] Hall, D. L.; Llinas, J.: *An introduction to multisensor data fusion*. Proceedings of the IEEE, 85(1), 6-23, 1997.
- [19] Braun, A.; Wichert, R.; Kuijper, A.; Fellner, D. W.: *A benchmarking model for sensors in smart environments*. In European Conference on Ambient Intelligence (pp. 242-257). Springer, Cham, 2014.
- [20] Lin, B. S.; Lee, I.; Chiang, P. Y.; Huang, S. Y.; Peng, C. W.: *A modular data glove system for finger and hand motion capture based on inertial sensors*. Journal of medical and biological engineering, 39(4), 532-540, 2019.
- [21] Henderson, J.; Condell, J.; Connolly, J.; Kelly, D.; Curran, K.: *Review of wearable sensor-based health monitoring glove devices for rheumatoid arthritis*. Sensors, 21(5), 1576, 2021.
- [22] Neofect. Rapael smart glove. 2020. <https://www.neofect.com/us/blog/stroke-rehabilitation-is-now-funthanks-to-rapeal-smart-glove> (pristupljeno 12.03.2022).
- [23] Liu, O.; Yuan, S.; Li, Z.: *A Survey on Sensor Technologies for Unmanned Ground Vehicles*. In 2020 3rd International Conference on Unmanned Systems (ICUS) (pp. 638-645). IEEE, 2020.
- [24] Marti, E.; De Miguel, M. A.; Garcia, F.; Perez, J.: *A review of sensor technologies for perception in automated driving*. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 11(4), 94-108, 2019.
- [25] Perumal, J.; Wang, Y.; Attia, A. B. E.; Dinish, U. S.; Olivo, M.: *Towards a point-of-care SERS sensor for biomedical and agri-food analysis applications: A review of recent advancements*. Nanoscale, 13(2), 553-580, 2021.
- [26] Jokanović, V.: *Instrumentalne metode-ključ za razumevanje nanotehnologije i nanomedicine* “Inženjerska Akademija Srbije i Institut za nuklearne nauke „Vinča“, 2014.
- [27] Guerrero, A.; De Neve, S.; Mouazen, A. M.: *Current sensor technologies for in situ and on-line measurement of soil nitrogen for variable rate fertilization: A review*. Advances in Agronomy, 168, 1-38, 2021.
- [28] Henderson, J.; Condell, J.; Connolly, J.; Kelly, D.; Curran, K.: *Review of wearable sensor-based health monitoring glove devices for rheumatoid arthritis*. Sensors, 21(5), 1576, 2021.

### КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференција напредне технологије у функцији развоја привреде,  
Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

- [29] Abdulkarem, M.; Samsudin, K.; Rokhani, F. Z.; A Rasid, M. F.: *Wireless sensor network for structural health monitoring: a contemporary review of technologies, challenges, and future direction*. Structural Health Monitoring, 19 (3), 693-735, 2020.