

AIREDGIO5.0: Razvoj IIoT sistema z uporabo odprtokodne platforme Arrowhead

Miha Glavan¹, Kristjan Cuznar², Rudi Panjtar³

¹Institut Jožef Stefan

Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

miha.glavan@ijs.si

²SIJ Storitve d.o.o.

Koroška c. 14, 2390 Ravne na Koroškem

kristjan.cuznar@sij-s.si

³Kompetenčni center za sodobne tehnologije vodenja

Tehnološki park 18, 1000 Ljubljana

rudi.panjtar@kcstv.si

AI REDGIO5.0: IIoT system development using an open-source Arrowhead platform

The presented results were created under the AI Redgio5.0 project, where the goal is to test and transfer into industrial practice different digital technologies. The article represents the background about developing IoT environment using the open source platform Arrowhead. The platform enables the development of local cloud infrastructure, which ensures safe transfer of data between different production entities. The core system services of the platform enable authentication of agents, registration and management of services, service orchestration, etc. For real time process measurements capture an application was developed that can run either on ESP or Raspberry Pi. The measured data are published into the Arrowhead system performing real-time data collection. Several web-services have been developed for data processing to integrate all the steps of data processing and analysis. Service-oriented system architecture simplifies further upgrade and scaling of system functionality, and the final coordination of data processing is carried out in the NodeRed environment.

Kratek pregled prispevka

Predstavljeni rezultati so nastali v okviru projekta AI REDGIO5.0, kjer je cilj preizkušanje in prenos različnih digitalnih tehnologij v industrijski prakso. V danem prispevku so predstavljene izkušnje razvoja IoT okolja z uporabo odprtokodne platforme Arrowhead. Platforma omogoča razvoj lokalne oblačne infrastrukture, ki zagotavlja varen prenos podatkov med različnimi proizvodnimi entitetami. Platforma je sestavljena iz temeljnih storitev sistema, ki omogočajo avtentikacijo agentov, prijavo storitev agentov, orkestracijo storitev itd. Za sprotno zbiranje podatkov je bil pripravljen vmesnik, ki teče na platformi ESP in/ali Raspberry Pi in v realnem času zajema meritve ter jih preko potisne komunikacije objavlja v sistem Arrowhead. Za procesiranje in obdelavo podatkov so bili pripravljene spletne storitve, ki integrirajo vse korake obdelave in analize časovnih vrst. Storitveno naravnana arhitektura sistema omogoča enostavno dodajanje in skaliranje funkcionalnosti sistema, končna koordinacija podatkovnega procesiranja pa je izvedena v okolju NodeRed.

1 Uvod

Uvajanje rešitev za prediktivno vzdrževanje proizvodnih strojev prinaša veliko prednosti pri stabilizaciji deviacij kakovosti izdelkov, povečevanju produktivnosti in učinkovitosti proizvodne opreme (OEE) ter prispevajo k razbremenitvi delavcev.

Rešitve za prediktivno vzdrževanje so lahko namensko razvite za določen tip proizvodnega stroja. Takšne rešitve so prilagojene specifikam posameznega stroja, ponujajo pa jih lahko že proizvajalci svojih strojev bodisi kot dodatno storitev ali kot dodatek k stroju. Proizvodnemu stroju prilagojene rešitve za prediktivno vzdrževanje so natančne in ponujajo podroben vpogled v posamezne komponente sistema, vendar pa je potrebno za njihovo uporabo vložiti veliko razvoja, močno omejen pa je njihov neposreden prenos na druge sorodne procese.

Za ponovljive proizvodne operacije, kot so na primer linije za kosovno proizvodnjo, pa je mogoče na delovanje opreme sklepati že na podlagi sprotne spremljanja deviacij v ponovitvah proizvodnih operacij. Takšen pristop lahko na enostaven način vzpostavi boljši vpogled v delovanje proizvodne opreme, sam koncept pa ni omejen zgolj na eno linijo, temveč ga je mogoče s samoučenjem na nominalnih delovnih pogojih prilagoditi na proizvodni proces, kjer je pričakovana ponovljivost operacij.

Pomemben dejavnik prediktivnega vzdrževanja ponovljivih operacij je sprotne spremljanje ključnih proizvodnih spremenljivk, kot so tokovi in napetosti, ter sprotne obdelava in vrednotenje izmerjenih vrednosti. V tem prispevku je predstavljena IIoT platforma, ki je bila v ta namen razvita na odprtokodnem sistemu Eclipse Arrowhead.

V 2. poglavju je predstavljen projekt AI REDGIO 5.0, v okviru katerega je bil razvita IIoT platforma za minimalno-invazivno diagnostiko, poglavje 3 predstavi pristop delovanja obravnavane diagnostike delovanja procesov in poglavje 4 predstavi razvito IIoT platformo.

2 Projekt AI REDGIO5.0

V okviru Obzorja 2020 je bil velik uspeh dosežen v programu za digitalno preobrazbo evropskih malih in srednje velikih podjetij (MSP) v proizvodnem sektorju, ki je tekel pod okvirjem IKT Innovation for Manufacturing MSP (I4MS [1]). Četrta faza programa se je osredotočala na središča digitalnih inovacij (DIH) in novo tehnologijo, kot sta umetna inteligenca (UI) in digitalni dvojčki. Zlasti inovacijska akcija AI REGIO [2] je ustvarila simbiotično partnerstvo med regijami, DIH-i, ponudniki rešitev UI in MSP. To partnerstvo je temeljilo na novi metodologiji za definiranje portfelja storitev DIH-ov in analizo poti strank, naborom orodij podatkov in virov umetne inteligence. Vsi ti so osredotočeni na AI4EU, mrežo didaktičnih tovarn in njihovih tehnoloških in regulativnih peskovnikov (TERESA), ekosistem eksperimentov, ki jih vodijo MSP, in njihove poti digitalne transformacije.

Projekt AI REDGIO5.0 [3] nadaljuje aktivnosti zaključenega projekta AI REGIO. Povezal je partnerje Vanguard pilota za umetno inteligenco [4], kjer aktivno nastopa Zavod KC STV, ki v projekt AI Redgio 5.0 vključuje tudi ostale zainteresirane deležnike iz slovenskega prostora. Neposreden član konzorcija pa je tudi podjetje Polycom, ki je vključeno s svojim demonstracijskim pod-projektom.

AI REDGIO5.0 deluje na treh ključnih domenah: (i) medregijsko povezovanje deležnikov, (ii) testiranju in demonstraciji novih rešitev UI na robu, ter (iii) kaskadno financiranje novih pod-projektov.

2.1 Medregijsko povezovanje

Eden izmed ciljev projekta je prispevati k nadaljnjemu razvoju programov Digital Europe, kot je EDIH, Data Spaces in AI TEF (Testing and Experimentation Facilities), ipd. V okviru projekta poteka tudi posodabljanje in razširitev partnerstva H2020 I4MS–AI REGIO (partnerstvo med regijami Vanguard EU in DIH).

V aktivnosti boljšega povezovanja in razvoja skupnega sodelovanja med DIH-i je vključenih 21 različnih DIH-ov, od tega pet iz naše regije.

2.2 Testiranje in demonstracija rešitev UI na robu

AI REDGIO5.0 deluje tudi v smeri boljšega uvajanja in sprejemanja tehnologije UI v proizvodnih MSP. Cilj je razvoj in uvajanje novih rešitev v smeri Industrije 5.0 (razvoj tehnologij umetne inteligence v oblaku in na robu s človekom v središču). Tekom projekta tako poteka preizkušanje in prenos različnih digitalnih tehnologij v industrijsko prakso ter demonstracija uporabnih orodij. Aktivnosti se izvajajo v 7 MSP demonstracijskih projektih, kjer razvijajo nove rešitve umetne inteligence v oblaku in robu. Vzporedno pa teče še 14 regionalnih demonstratorskih projektov oz. didaktičnih tovarn.

Eden izmed regijskih demonstratorjev je tudi slovenski demonstracijski projekt, namenjen razvoju in demonstraciji koncepta minimalno invazivnega nadzornega sistema za kosovne proizvodne linije, ki je predstavljen v tem prispevku.

2.3 Kaskadno financiranje novih pod-projektov

Dodatnih 20 demonstracijskih pod-projektov je bilo naknadno podrtih preko kaskadnega financiranja. Izbor projektov je potekal preko dveh razpisov. Izmed izbranih kaskadno-financiranih projektov sta na prvem natečaju sredstva pridobili tudi dve inovativni slovenski podjetji: Blaj Fasteners in Senso4s.

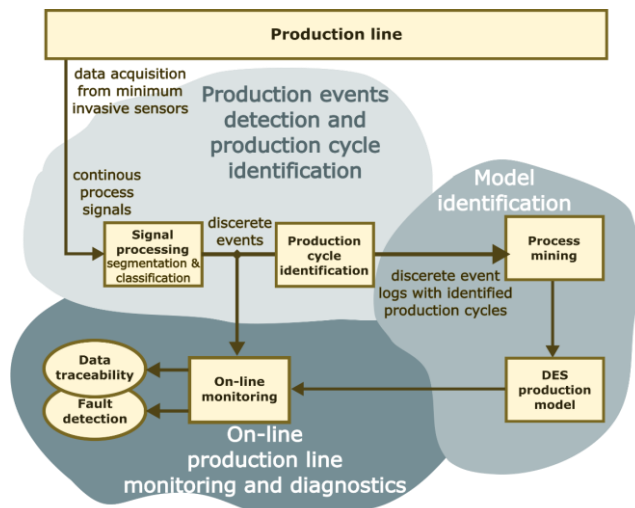
3 Minimalno invazivna diagnostika ponovljivih procesnih operacij

Eden izmed regijskih demonstracijskih projektov v AI REDGIO5.0 je tudi razvoj demonstracijskega sistema za minimalno invazivno diagnostiko.

3.1 Osnovni koncept in namen

Osnovna ideja koncepta minimalno-invazivne diagnostike je sistem, ki ga je mogoče dodati že obstoječi proizvodni opremi pri čemer ni potrebno spreminjati ali posegati v proizvodno opremo. Po eni strani je potrebno zajemati procesne podatke z enostavno merljivimi procesnimi spremenljivkami (npr. tokovi, tlaki),

po drugi strani pa je potrebno zbrane meritve ustrezno ovrednotiti s stališča detekcije, karakterizacije in javljanja sprememb v delovanju opreme, kot je to konceptualno prikazano na Sliki 1.



Slika 1: Osnovni koncept minimalno-invazivnega nadzora nad ponovljivimi proizvodnimi operacijami

3.2 Sprotni zajem procesnih veličin

Za sprotno spremljanje procesa so bili izbrani ustrezni senzorji. Osredotočili smo se na merilnike, ki omogočajo sprotno merjenje tlaka komprimiranega zraka na vstopu v stroj in merilnike toka električnih porabnikov. Merilnik tlaka deluje po principu kontinuiranega merjenja preleta (ToF, ang. *Time of Flight*), merilnik toka pa po principu Hallove sonde. Principi delovanja izbranih senzorjev omogočajo, da se jih enostavno doda na že obstoječo napeljavo stroja (koncept »clip-on« senzorjev).

3.3 Algoritmi za procesiranje časovnih podatkov in izvedba diagnostike

Naslednji pomembni korak minimalno-invazivne diagnostike je detekcija odstopanj v ponovljivosti procesnih operacijah in karakterizacija napak.

Podatkovna analitika [5, 6] temelji na predučenju na podatkih obratovanja procesa v nominalnem stanju, kjer proces deluje brez napak in okvar. Ob minimalni predhodni informaciji o procesu se proces nauči prepoznavati posamezne cikle operacij iz izmerjenih časovnih vrst ter

identificira diskretno-dogodkovno povezavo med zaznanimi operacijami.

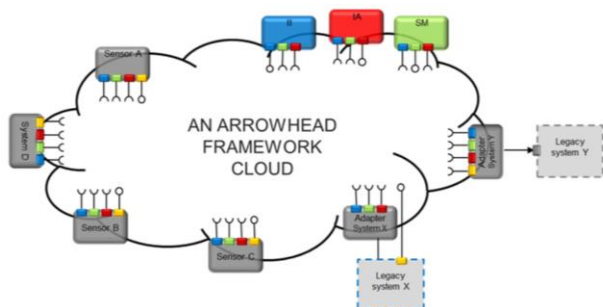
Po fazi samo-učenja in prilagoditve na obravnavani proces na podlagi meritev v nominalnem obratovanju, pa je mogoče to znanje uporabiti za sprotno diagnostiko delovanja. Le-ta se izvaja preko zaznavanja odstopanj v meritvah operacij ter zaznavanju odstopanj v sledju in časovnem neskladju operacij.

4 IIoT platforma za minimalno invazivno diagnostiko

Za demonstracijo minimalno-invazivne diagnostike je bila v okviru projekta AI REDGIO5.0 razvita IIoT platforma. Cilj platforme je povezati različne komponente diagnostičnega sistema v enovit sistem in pri tem omogočiti čim-večjo fleksibilnost in skalabilnost sistema. IIoT je bil zasnovan na odprto-kodni platformi Eclipse Arrowhead [7], ki predstavlja enega izmed osnovnih gradnikov projekta AI REDGIO5.0.

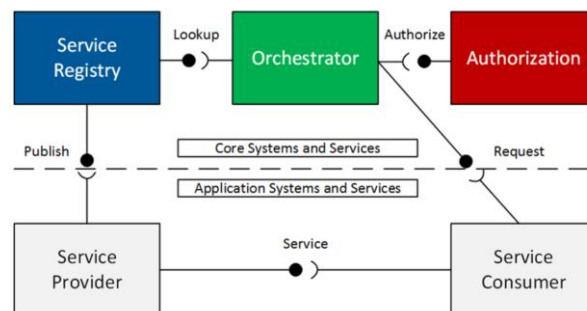
4.1 Platforma Eclipse Arrowhead

Platforma Eclipse Arrowhead je odprto-kodna platforma za razvoj IIoT in lokalno oblačnih rešitev. Arhitektura platforme sledi načelu mikro-storitev (ang. *microservices*) ter omogoča implementacijo rešitev po principu storitveno usmerjene arhitekture (SOA, ang. *Service Oriented Architecture*). Platforma omogoča pripravo in implementacijo lokalnih oblačnih rešitev, ki so prilagojene potrebam podjetja ter so implementirane na obstoječi infrastrukturi v podjetju. Lokalni oblak je razvit kot zaprta skupina mikro-sistemov znotraj povezane infrastrukture, kot je to prikazano na sliki 2.



Slika 2: Primer lokalne oblačne rešitve razvite na platformi Eclipse Arrowhead

Nabor temeljnih in nujnih storitev sistema (Slika 3) zagotavlja osnovno storitveno usmerjene funkcionalnosti, kot so registracija storitev, odkrivanje storitve (katalog storitev sistema), avtentikacija in avtorizacija, ter orkestracija povezanih sistemov.



Slika 3: Temeljne storitve sistema Eclipse Arrowhead

Register servisov (ang. *Service Registry*) omogoča ponudnikom storitev, da objavijo svoje storitve, hkrati pa tudi omogočajo vsem sodelujočim iskanje ustreznega ponudnika iskane storitve. Avtorizacijski sistem (ang. *Authorization system*) omogoča ponudnikom storitev, da določijo kateri uporabniki storitev imajo dovoljenje za uporabo določenih storitev. Orkestracijski sistem (ang. *Orchestration system*) pa orkestrira katero storitev od večjih razpoložljivih naj določen uporabnik uporabi.

Koncept Arrowhead platforme omogoča sklopitev ohlapno povezanih sistemov, kjer vsak od njih ponuja svoje storitve. Vsak od gradnikov sistema pa lahko tudi uporablja druge storitve. Informacije o vseh razpoložljivih storitvah in njihovih ponudnikov v danem trenutku so na voljo v bazi registratorja storitev in se lahko adaptivno s časom spreminjajo. Takšen pristop omogoča dinamično sklopitev raznolikih komponent sistema in skalabilnost sistema v smislu dodajanja novih ali zamenjave obstoječih gradnikov sistema z novimi.

4.2 Varnost

Varnost platforme Eclipse Arrowhead temelji na konceptu avtentikacije in avtorizacije. Vsak uporabnik storitve je overjen in vsaka uporaba storitve je avtorizirana. Avtentikacija vseh

gradnikov sistema se izvaja z uporabo potrdila X.509.

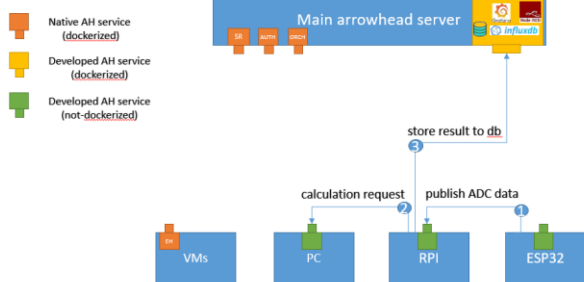
Za namene lažje priprave in upravljanje s certifikati sistema je bil v okviru projekta razvito orodje za generiranje samo podpisanih vmesnih in odjemalskih potrdil. Orodje omogoča pripravo in izdajanje certifikatov za vse v lokalni oblak vključene naprave. Orodje je bilo razvito v okolju Python in je odprto dostopno [8].

4.3 Komunikacijski vzorci

Arrowhead platforma podpira dva osnovna komunikacijska vzorca med agenti, t.j. (i) komunikacija preko zahtevkov in odgovorov (ang. *request-response*) in (ii) komunikacija preko objave in naročanja (angl. *publish-subscribe*).

V razviti IIoT platformi sta uporabljena oba tipa komunikacije. Neposredna komunikacija (ang. *point-to-point*) med ponudniki in uporabniki storitev (Slika 4) se uporablja predvsem za izvedbo korakov procesiranja podatkov časovnih vrst, kjer se podatki zbrani za določeno časovno obdobje pošljejo ustrezni mikro-storitvi za vrednotenje in procesiranje podatkov.

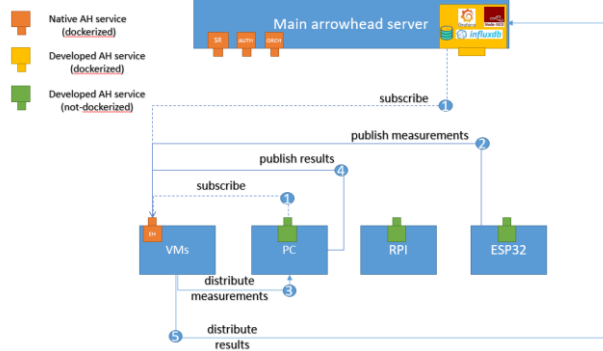
Request-response communication model (point-to-point)



Slika 4: Primer komunikacije IIoT sistema po principu zahtevkov in neposrednih odgovorov

Komunikacija objavljanja in naročanja na podatke (Slika 5) pa se uporabljajo predvsem za razširjanje rezultatov, ki zadevajo večje število uporabnikov le-teh, kot je na primer naročanje na meritve časovnih vrst ter naročanje na rezultat analize (npr. detekcija deviacij v procesu).

Publish-subscribe communication model (one-to-many)

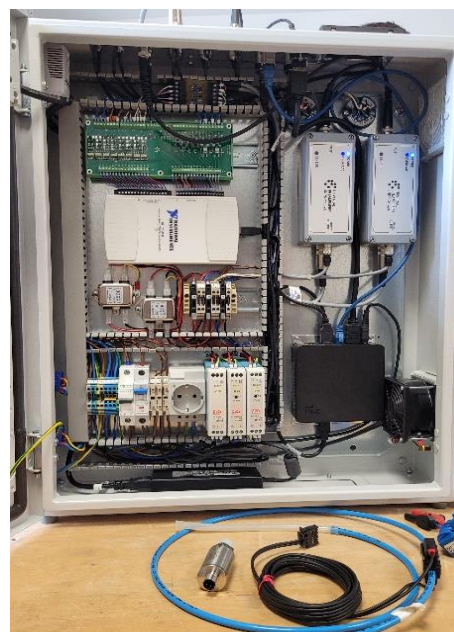


Slika 5: Primer komunikacije IIoT sistema po principu objave in naročanja

4.4 IIoT gradniki za minimalno invazivno diagnostiko

Za namene minimalno-invazivne diagnostike so bili na osnovi pripravljene IIoT platforme razviti osnovni gradniki sistema.

Razvit je bil centralni sistem za zajem podatkov, kot je prikazan na sliki 6. Centralni sistem omogoča natančen zajem podatkov z NI DAQ kartico in ustreznega pred-filtriranja analognih signalov. Centralni sistem ima vgrajen tudi računalnik Intel NUC na katerem tečejo servisi pripravljene IIoT platforme: osnovni servisi Arrowhead platforme in podatkovno-analitične storitve za minimalno-invazivno diagnostiko.



Slika 6: Centralni sistem za zajem podatkov

Poleg centralnega sistema so bila razvita še mikro-merilna mesta. Njihov namen je enostavno dodajanje novih merilnih točk v celoten sistem. Mikro-merilna mesta so bila razvita na osnovi nizko-cenovnih mikrokontrolerjev ESP32 z možnostjo ethernet povezave in cenovno dostopnih analogno-digitalnih konverterjev: ADS8688 (SAR ADC) in ADS1256 (Delta-Sigma ADC). Razviti sta bili dve različici sistema, ki omogočata različne možnosti uporabe.

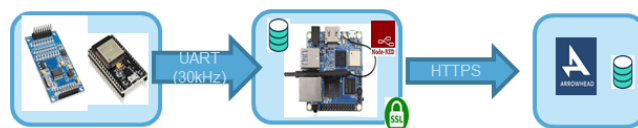
Kombinacija ADC in ESP32 z mrežno povezavo predstavlja prvo rešitev prikazano na Sliki 7. Razvit je bil sistem neprestanega branja meritev iz senzorjev in objavljanja meritev preko Arrowhead komunikacije, pri čemer vsako od jeder mikrokrmilnika skrbi za ustrezno realno-časno delovanje obeh aktivnosti. Na takšen način je bilo mogoče doseči čase vzorčenja do 1kHz.



Slika 7: Sistem za neposredno pošiljanje meritev v IIoT sistem z uporabo ADC in ESP32

Druga rešitev, prikazana na Sliki 8, temelji merjenju v realnem času z uporabo ADC in ESP32 mikrokrmilnika, rezultati pa se lokalno pošiljajo mini računalniku Raspberry Pi, kjer se podatki pred-procesirajo in shranijo v lokalno bazo. Za dostop do podatkov in njihovo sprotno objavljanje drugim deležnikom sistema pa so na voljo mikrostoritve objavljene v IIoT sistemu. S

takšnim pristopom pa je bilo mogoče doseči čase vzorčenja do 30kHz.

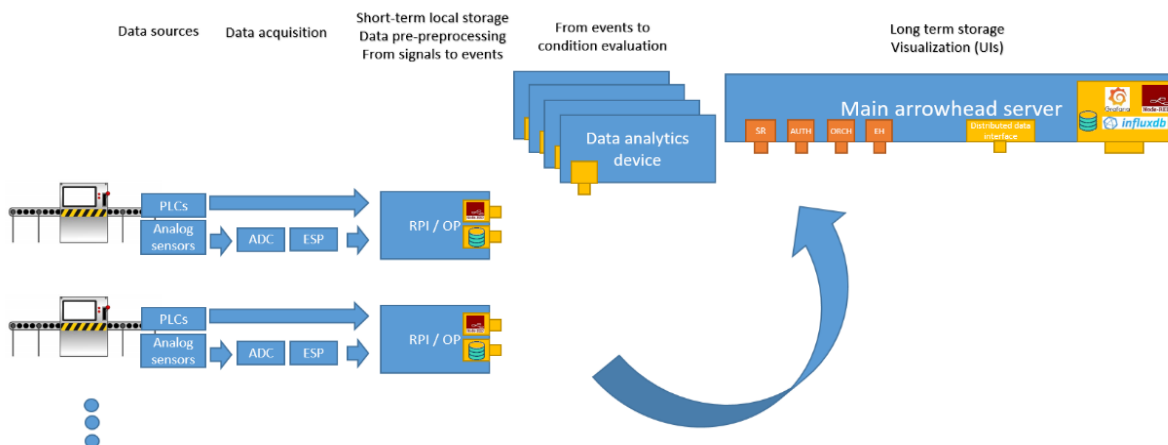


Slika 8: Sistem za lokalno hrambo meritev in ponujanje podatkovnih mikro-storitev v IIoT sistemu

Celotna slika razvitega IIoT sistema je prikazana na Sliki 9. Arhitektura sistema temelji na storitveno orientirani arhitekturi, kjer pripravljene mikrostoritve tečejo na razvitih napravah za zajem in procesiranje podatkov. Za razvoj mikro-storitev je bil uporabljen Arrowhead vmesnik v okolju NodeRed ter Python klient. Shranjevanje in procesiranje podatkov pa je bilo izvedeno z uporabo NoderRed ter Grafana za vizualizacijo ter InfluxDB za shranjevanje podatkov.

5 Zaključek

Za namene implementacije pristopa za minimalno-invazivno diagnostiko ponovljivih proizvodnih operacij je bila razvit IIoT sistem. Razvit IIoT temelji na Eclipse Arrowhead platformi, razvito okolje pa omogoča zajem in procesiranje podatkov. IIoT platforma sledi storitveno naravnani arhitekturi sistema kar omogoča veliko fleksibilnost pri sklopitvi posameznih komponent sistema ter njihovo enostavno dodajanje, podvajanje in zamenjavo.



Slika 9: Arhitektura razvite IIoT platforme za minimalno-invazivno diagnostiko

Zahvala

Delo je bilo podprto v okviru nacionalnega raziskovalnega programa Sistemi in vodenje (P2-0001), ARIS projekta L2-4454 ter mednarodnega projekta AI REDGIO5.0 (GA No. 101092069), ki je sofinanciran s strani Evropske komisije v okviru programa Obzorje Evropa.

Literatura

- [1] Spletna stran partnerstva I4MS, <https://i4ms.eu/>
- [2] AI REGIO projekt, spletna stran projekta, <https://www.airegio-project.eu>
- [3] AI REDGIO5.0 projekt, spletna stran projekta, <https://www.airedgio5-0.eu>
- [4] Spletna stran Vanguard AI Pilota: <https://www.s3vanguardinitiative.eu/pilots/artificial-intelligence>
- [5] Ž. Stržinar, B. Pregelj, I. Škrjanc, Soft sensor for non-invasive detection of process events based on Eigenresponse Fuzzy Clustering. Applied soft computing, 2023, DOI: 10.1016/j.asoc.2022.109859
- [6] Ž. Stržinar, B. Pregelj, I. Škrjanc, Uporaba metode rojenja z lastnim odzivom v minimalno invazivnem nadzornem sistemu, AIG'23, 2023.
- [7] Eclipse Arrowhead, <https://arrowhead.eu>
- [8] K. Cuznar, Tool for generating self-signed intermediate and client certificates, <https://github.com/CuAuPro/cryptogen-python>