DOI: 10.2478/bhee-2015-0007

Stručni rad/Professional paper

BEŽIČNA KOMUNIKACIJA KORIŠTENJEM WIRELESSHART PROTOKOLA I DIZAJNIRANJE WIRELESSHART MREŽE

WIRELESS COMMUNICATION USING WIRELESSHART PROTOCOL AND WIRELESSHART NETWORK DESIGN

Adnan Mulaosmanović[1]

Sažetak: Istraživanja koja su sprovedena u okviru izrade ovog rada odnose se na princip rada i konfigurisanje WirelessHART mreže u procesnoj industriji. WirelessHART standard razvijen od strane HART Communication Foundation za industrijsku procesnu automatizaciju koji koristi vremenski sinhronizovanu, samoorganizirajuću i samoozdravljuću mesh arhitekturu. Ovaj standard predstavlja ekstenziju baznog HART protokola, osiguravajući da novi i stari uređaji budu u potpunosti podržani. WirelessHART standard je dizajniran tako da omogući jednostavno konfigurisanje, fleksibilnu instalaciju i jednostavan pristup podacima s instrumenata, a u isto vrijeme osigura robusnu i pouzdanu komunikaciju.

Ključne riječi: WirelessHART, industrijske komunikacije, protokol, bežična komunikacija, automatizacija

Abstract: Research which has been carried out in the scope of making this paper is related to the principle of operation and configuration of WirelessHART network in the process industry. The WirelessHART standard has been developed by the HART Communication Foundation for industrial process automation which uses time-synchronised, self-organising and self-healing mesh architecture. This standard represents extension to the core HART protocol, ensuring that newer and older devices would be fully supported. The WirelessHART standard is designed to offer simple configuration, flexible installation and easy access of instrument data, and at the same time ensure robust and reliable communications.

Keywords: WirelessHART, industrial communication, protocol, wireless communication, automation

UVOD

WirelessHART (HART – Highway Addressable Remote Transducer) standard je prvi otvoreni bežični komunikacioni standard koji se koristi u širokoj primjeni u industriji za mjerenje i upravljanje. Objavljen je 2007. godine od strane HART Communication Foundation (HCF), a odobren u aprilu 2010. godine od strane IEC (International Electrotechnical Commission) kao međunarodni standard IEC 26591. WirelessHART protokol baziran je na prethodno usvojenom HART protokolu, kao jednom od najrasprostranjenijih komunikaciskih standarda u procesnoj industriji. HART je hibridni komunikacioni standard koji koristi jedan kanal za prenos analognih signala od 4-20 mA DC, dok drugi kanal koristi za prenos digitalnih informacija. Na ovaj način uređaji koji rade s HART protokolom koriste i analogni i digitalni signal, čime se obezbjeđuje velika fleksibilnost koja se ne može naći ni kod jedne druge komunikacione tehnologije. Tokom vremena HART protokol je doživio više promjena i revizija, a s pojavom revizije HART 7 u protokol se uključuje pored žičane i bežična komunikacija.

[1] Global Ispat Koksna Industrija Lukavac,
Bosna i Hercegovina
adnan.mulaosmanovic@gmail.com
Rad dostavljen: januar 2015. Rad prihvaćen: februar 2015.

Proces usvajanja i prihvatanja bežičnih tehnologija u procesnoj i proizvodnoj industriji, koji bi rezultirao širokom upotrebom bežičnih tehnologija u industrijskim uslovima, bio je dosta spor. Jedan od glavnih razloga za takvu situaciju bio je nepostojanje otvorenih standarda koji ispunjavaju sve neophodne industrijske zahtjeve, a neki od ovih zahtjeva su: velika pouzdanost bežičnog prenosa podataka, skalabilnost bežične mreže, mogućnost rada u mesh topologiji jer je point-to-point komunikacija nepouzdana u industrijskom okruženju, mala potrošnja energije, koegzistencija bežičnih mreža i otpornost na prisustvo šuma. S druge strane otvoreni standardi pružaju sigurnost da kupci neće biti limitirani na samo jednog proizvođača procesne opreme. Sa WirelessHART standardom bežična komunikacija ulazi u svijet automatizacije. WirelessHART ne mijenja nego dopunjava i spaja postojeću HART tehnologiju i pruža dodatne pogodnosti pomažući u procesu nadgledanja i kontrole svih postojećih, kao i novih aplikacija. Takođe, WirelessHART je unazad kompatibilna s postojećim HART uređajima i aplikacijama, finansijski isplativa, koja ima pristup bežičnoj komunikaciji, koja podržava industrijske zahtjeve za jednostavnom, pouzdanom i sigurnom bežičnom komunikacijskom tehnologijom. Jedna od uloga WirelessHART-a je da se sačuva postojeća instalirana oprema i

sva stečena znanja kod instalacije i održavanja, ali da se korištenjem bežične tehnologije smanji cijena instalacije novih mjernih mjesta, pojednostavi pristup dijagnostičkim informacijama, te da se osigura bolji nadzor nad opremom. Tabela I sumarno prikazuje karakteristike WirelessHART-a:

Tabela I: Karakteristike WirelessHART-a

Karakteristika	Opis
Bežični standard	IEEE 802.15.4-2006 250Kbps
Frekvencija	2.4GHz
Udaljenost	Do 200m
Napajanje	Solarano ili baterijsko napajanje sa malom potrošnjom energije
Topologija	Mesh mrežna topologija
Broj uređaja	Ograničenje od 100 bežičnih uređaja na jedan gateway
Baziran na idnustrijskom standardu	HART – IEC 61158 EDDL – IEC 61804-3 Radio & MAC IEEE 802.15.4.(TM)-2006
Robusnost	Velika
Sigurnost	Visoka
Kompaktibilnost	Unazad kompaktibilna sa prethodnim HART revizijama

1. KARAKTERISTIKE PROTOKOLA

WirelessHART standard specificira komunikacijski protokol koristeći OSI (Open System Interconnection) referentni model, kao što je prikazano u Tabeli II.

Tabela II: OSI model WirelessHART-a

OSI SLOJ	OPIS
Aplikacijski sloj	Komandno orijentisani pristup, predefinisani tipovi podataka i upotreba aplikacija
Prezentacijski sloj	
Sloj sesije	
Transportni sloj	Autosegmentiranje velikih setova podataka, pouzdan prenos
Mrežni sloj	Optimizacija snage, redudantne putanje, samoozdravljenje, mesh mreža
Podatkovni sloj	Sigurnost, pouzdanost, vremenska sinhronizacija TDMA/CSMA
Fizički sloj	2,4 GHz, bežični prenos, radio signali po standardu 802.15.4

Fizički sloj zadužen je za slanje signala, modulaciju i sam prenos podataka. Na njega se naslanja podatkovni sloj koji ima zadatak da odredi kako će se bežični medij dijeliti između mrežnih uređaja. Takođe je odgovoran za formatiranje paketa podata i detekciju/korekciju grešaka. Mrežni sloj je jezgra WirelessHART standarda, i zadužen je za preusmjeravanje (routing) paketa, upravljanje topologijom, upravljanje sigurnosnim funkcijama i održavanje sesija. Transportni sloj zadužen je za pouzdanost prenosa između krajnjih uređaja kao i za kontrolu protoka. Kao i sam HART, i WirelessHART ima komandno orijentisan aplikacijski sloj.

1.1. Fizički sloj

WirelessHART protokol bazira se na IEEE 802.15.4 i radi na besplatnim (nelicenciranim) frekvencijama od 2.4 GHz ISM (Industry, Scientific, Medical frequency bands) opsega, uz brzine prenosa do 250 kbps. WirelessHART koristi O-QPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying) modulaciju i DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) tehnologiju i tehniku skakanja između komunikacionih kanala da bi se izbjegla interferencija i redukovao multipath fading efekat. DSSS tehnologija obezbjeđuje 8dB dodatnog pojačanja korištenjem jedinstvenih algoritama za kodiranje, čime se dodatno poboljšava odnos signal/šum. Na ovaj se način povećava osjetljivost prijemnika putem digitalne obrade signala. Kodiranjem se osigurava da se prenos podataka može odvijati na cijelom frekventnom opsegu, a samo WirelessHART uređaji mogu ispravno dekodirati ovako kodiranu informaciju, dok ostali uređaji ovakav signal smatraju za bijeli šum koji u procesu obrade signala odbacuju. Korištenjem DSSS tehnologije smanjuje se potreba za većom snagom prenosa, signal je sakriven u pozadinski šum te se stoga signal ne može prisluškivati ili ometati [1].

ISM opseg frekvencija koji se koristi za WirelessHART pokriva opseg od 2400 – 2483,5 MHz, a njegovi kanali su numerisani od 11 do 26 sa 5 MHz razmaka između kanala. Kanal 26 u mnogim zemljama nije dozvoljen od strane državnih regulatornih agencija, tako da se i ne koristi. Nominalna snaga prenosa je 10 dBm, koja se može podešavati za svaki uređaj posebno. Svrha varijabilne snage prenosa je da štedi energiju, a samim tim produžuje vijek trajanja baterijskog napajanja uređaja. To je posebno važno kod onih uređaja koji se u potpunosti oslanjaju samo na ovaj izvor napajanja.

Standardna WirelessHART poruka ima 127 bajta. Do ove se veličine standardne poruke dolazi jer se u jednoj poruci može poslati kombinacija od nekoliko komandi radi bolje iskoristivosti propusnog opsega. U suštini dužina poruke manje utječe na pouzdanost prenosa u mreži kod koje je prisutno dosta šuma. U aneksu E standarda IEEE 802.1.4-2003 nalazi se formula za računanje vjerovatnoće greške po bitu (Bit Error Rate, BER) koji je uzrokovan odnosom signal/šum [2]

$$BER = \frac{8}{15} * \frac{1}{16} * \sum_{k=2}^{16} -1^{k} \binom{16}{k} e^{\left(20 \cdot SINR \cdot \left(\frac{1}{k}-1\right)\right)} \quad (1)$$

gdje su:
- BER – vjerovatnoća greške po bitu
- $SINR$ – Signal to Interface Plus Noise Ratio

Sa 2dB odnosa signal/šum BER iznosi manje od 0,000001. Za maksimalnih 127 bajta u poruci, greška od

jednog bita je moguća na 1000 poruka. Odavde se vidi da najveći doprinos pojavi gubitka poruka predstavlja slučajna interferencija signala, a ne konstantno prisustvo pozadinskog šuma.

1.2. Podatkovni sloj

Ovaj sloj ima zadatak da uspostavi mehanizme za pouzdanu i sigurnu komunikaciju bez grešaka. Da bi se osigurala komunikacija bez pojave grešaka koristi se tehnika skakanja s kanala (channel hopping) uz primjenu zabranjivanja korištenja nekog kanala stavljajući ga na „crne liste" koristeći TDMA (Time Division Multiple Access) tehnologiju. Ovaj sloj obično je podijeljen u dva podsloja: LLC (Logical Link Contol) i MAC (Medium Access Control) sloj. LLC definiše servise za mrežni sloj, dok MAC definiše kako će se pristupiti komunikacijskom mediju. Glavni zadaci MAC protokola su [3]:

- Sinhronizacija vremenskih okvira
- Identifikacija uređaja koji zahtijeva pristup prenosnom mediju
- Prenos poruke primljene s mrežnog sloja
- Osluškivanje prenosa paketa sa susjednih čvorova

Sloj LLC uključuje zahtjeve za formatom HART okvira, strukturu HART adresa uređaja, kao i sigurnosne servise koji se koriste za provjeru integriteta poruka i detekciju grešaka, dok MAC sloj specificira kada je uređaju dozvoljeno da šalje poruku [2].

Na MAC sloju koristi se TDMA koji osigurava da samo jedan instrument komunicira na jednom kanalu u jednom trenutku. Na ovakav način sprečavaju se kolizije unutar mreže. Kompletno vrijeme komunikacije izvršava se unutar unaprijed određenog vremenskog slota od 10 ms. Niz vremenskih slotova formira poseban periodičan frejm koji se naziva superfrejm za prenos podataka [4]. Svaki superfrejm počinje od ASN (Absolution Slot Number) 0, trenutka kada je mreža prvi puta kreirana. Serija vremenskih okvira (slotova) (100 vremenskih ovira) čini jedan superfrejm. Svakom komunikacionom linku između dva uređaja dodijeljen je jedan i samo jedan superfrejm. Jedan superfrejm je uvijek omogućen u jednom trenutku. Dužina superfrejma je fiksna kada se jednom aktivira, ali se može promijeniti kada je taj superfrejm deaktiviran. Stoga različiti superfrejmovi mogu imati različite dužine. Upravljački (management) superfrejm ima 6400 okvira, a okviri se koriste za zahtjeve za priključenje uređaja mreži, ad hoc zahtjeve ili okviri za specijalne namjene. Za uspješnu i efikasnu realizaciju TDMA komunikacije, kritični element predstavlja sinhronizacija vremena između uređaja u mreži. Stoga su tolerancije u vremenu i njihova sinhronizacija posebno specificirani da bi se osigurala uspješna sinhronizacija vremena na svim uređajim u mreži. Naime svaki uređaj mora znati kada počinje prenos okvira. Unutar vremenskog okvira prenos poruke s odašiljača (izvorišta) počinje u specificiranom trenutku nakon početka vremenskog okvira. Ovo vrijeme zadrške dozvoljava odašiljaču i prijemniku da podese svoje frekvencijske kanale i dozvole prijemniku da započne s osluškivanjem specificiranog kanala. Budući da postoje vremenske tolerancije, prijemnik mora početi osluškivati prije idealnog početka prenosa i da nastavi osluškivati nakon tog idealnog vremena. Maksimalna veličina paketa je 127 bajta, gdje je 80 bajta korisničkih podataka. Nakon završetka prenosa prijemni uređaj šalje poruku ACK (Acknowledge) ukoliko je poruka uspješno prenesena, ili specifičnu poruku o grešci u prenosu. U cilju poboljšanja pouzdanosti u kombinaciji sa TDMA koristi se i tehnika skakanja s kanala, koje obezbjeđuje korištenje različitih frekvencija, a putem čega se izbjegavaju interferencije i smanjuje efekat multi-path fadinga [5].

Da bi se poboljšala kvaliteta prenosa, WirelessHART ima mogućnost kreiranja "crnih listi" kanala, a svaki kanal na kojem se javljaju znatne smetnje može se staviti na ovu listu. Na ovaj način mrežni administrator može potpuno isključiti neke od kanala koji su na "crnoj listi". U svakom trenutku samo jedan par instrumenata komunicira na istom frekvencijskom kanalu. Međutim moguće je da više od jednog para instrumenata može komunicirati u isto vrijeme, ali koristeći različite kanale.

1.3. Transportni sloj

Ovaj sloj zadužen je za osiguravanje pouzdane komunikacije, odnosno osigurava da poslani paketi uspješno prolaze više skokova preko mrežnih tačaka do konačne destinacije. Transportni sloj enkapsulira podatke s aplikacijskog sloja. Generalno se može reći da je transportni sloj WirelessHART-a analogan transportnom sloju Interneta. Transportni sloj podržava i transakcije za koje je potrebna potvrda (kao u TCP/IP protokolu; TCP/IP- Transmission Control Protocol/Internet Protocol) i one za koje nije potrebna potvrda (kao u UDP protokolu; UDP- User Datagram Protocol). Transportni sloj koristi pristupne ključeve ili sesijske ključeve za šifriranje paketa. Uređaji koji međusobno komuniciraju imaju obezbijeđene identične pristupne ključeve. Ovaj sloj služi kao tačka konvergencije između HART-a i WirelesHART-a.

1.4. Aplikacijski sloj

WirelessHART koristit standardni HART aplikacijski sloj koji je komandno orijentisan. Komande se mogu podijeliti u tri kategorije: univerzalne komande, uobičajene komande, specifične komande za uređaje i bežične komande. Svi uređaji koji koriste HART protokol moraju podržavati univerzalne komande. Ove komande obezbjeđuju pristup podacima koji se koriste u normalnom radu, kao što je čitanje primarne varijable i njene mjerne jedinice. Uobičajene komande obezbjeđuju funkcionalnosti koje koriste mnogi, ali ne i svi HART uređaji. Ukoliko su te komande implementirane, treba ih koristiti za realizaciju njihovih funkcija. Specifične komande predstavljaju funkcije koje su jedinstvene za svaki posebni uređaj, a

koriste se za pristup postavkama i kalibracionim informacijama, kao i informacijama koje su vezane za samu konstrukciju uređaja.

Bežične komande podržavaju specifične WirelessHART uređaje, a svi uređaji koji rade sa WirelessHART-om moraju imati implementirane ove komande da bi se osigurao normalan rad mreže. Aplikacijski sloj zadužen je za parsiranje poruka, izdvajanje komandi, izvršavanje komandi i generisanje odgovora.

2. KOMPONENTE WIRELESSHART MREŽE

Svaka WirelessHART mreža uključuje tri glavna elementa: gateway, opremu u polju (Wirelss field device), i mrežnog upravitelja (Network manager), koji može biti integrisan u gateway, host aplikaciju ili kontroler automatskog upravljanja [6].

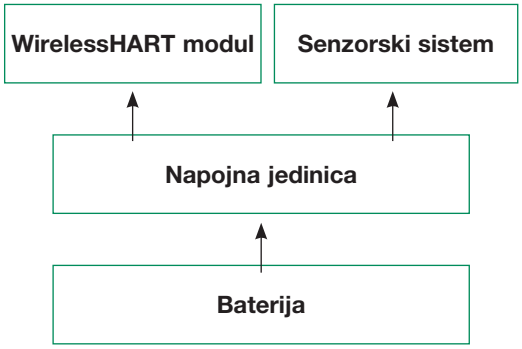
Primarni fokus mrežnog upravitelja stavljen je na najbolju iskorištenost mrežnih resursa u cilju postizanja optimalnih preformansi brzine i količine prenesenih podataka uz maksimalnu uštedu energije, kao i na sigurnost mreže. Funkcije upravljanja mrežom koje on vrši su:

- podrška uređajima koji se spajaju u mrežu
- uspostavljanje smjernica
- planiranje razmjene podataka
- planiranje kontrolnih funkcija
- adapatacija planiranja mreže

Pored mrežnog upravitelja u mreži mora postojati i sigurnosni upravitelj (Security Manager) koji distribuira i upravlja sa sigurnosnim enkripcijskim ključevima. U njemu se čuva lista autorizovanih uređaja koji mogu pristupiti mreži. Sigurnosni upravitelj radi zajedno s mrežnim upraviteljem (sigurnosni i mrežni upravitelj rade po principu klijent-server) i zadužen je da osigura autorizaciju i enkripcijske ključeve radi osiguravanja pravilne enkripcije poruka. Sigurnosni upravitelj upravlja sigurnosnim resursima i prati mrežnu sigurnost. Na mreži može postojati samo jedan sigurnosni upravitelj, a jedan sigurnosni upravitelj može opsluživati više od jedne WirelessHART mreže.

Gateway osigurava povezivanje između WirelessHART uređaja i upravljačkog sistema ili host aplikacija koje su spojene na brzu komunikacionu mrežu (kao što su PROFIBUS, ETHERNET i sl.). Najčešće se u sklopu gateway uređaja nalazi integrisani mrežni upravitelj. Kao elementi mreže takođe se mogu pojaviti i pojačavači signala (Repeater) čiji je glavni cilj pojačavanje signala radi povećanja dometa WirelessHART mreže; i WirelessHART adapteri koji omogućuju povezivanje konvencionalnih HART uređaja na WirelessHART interfejs. Adapteri se mogu nalaziti bilo gdje u 4-20 mA strujnom krugu i mogu biti baterijski napajani ili se mogu napajati direktno iz 4-20 mA kruga. Takođe, adapteri su dizajnirani tako da podržavaju i multidrop arhitekturu, tj. imaju mogućnost povezivanja više uređaja u jednu strujnu petlju koja se povezuje na jedan adapter.

Opremu u polju predstavljaju uređaji koji vrše mjerenja fizikalnih veličina iz procesa i vrše slanje ovih podataka prema gatewayu. Ovi uređaji mogu biti ili čisto WirelessHART uređaji (baterijski napajani) ili mogu biti klasični HART uređaji (ožičeni) opremljeni s adapterskim jedinicama. Principjelno WirelessHART uređaji mogu se podijeliti na nekoliko potkomponenti: baterija, napojna jedinica, WirelessHART modul i senzorski sistem.



Slika 1: Principjelna shema WirelessHART uređaja

Na WirelessHART mreže mogu se po potrebi priključiti i ručni terminali, kalibratori. Oni se koriste za parametriranje, praćenje rada uređaja kao i za kalibriranje i održavanje uređaja.

Podaci koji se dobijaju iz mreže prenose se u sistem za obradu podataka tj. host. Zavisno od aplikacije to mogu biti DCS (Distributed Control System), PLC (Programmable Logic Controller) ili bilo koji drugi sistem upravljanja i nadzora, koji se najčešće izvršava na PC-u (Personal Computer) .

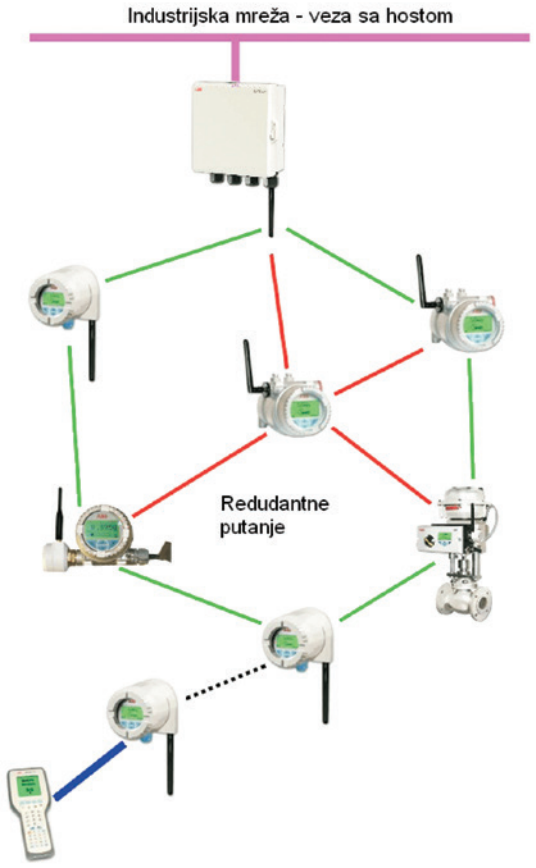
3. DIZAJNIRANJE WIRELESSHART MREŽE

Mrežni sloj WirelessHART-a podržava kreiranje mesh mrežne topologije. Centralni mrežni upravitelj zadužen je za održavanje mrežne konfiguracije i rasporeda svih aktivnosti koje se odvijaju na mreži. Mesh topologija predstavlja idealnu topologiju za davanje brzog i jednostavnog pristupa mreži, a takođe je pogodna i za jednostavno proširivanje postojeće mrežne infrastrukture. Odlika mesh mreže je nepostojanje centralnog čvora preko kojeg se izvodi čitava komunikacija, odnosno u mesh mrežama svaki čvor u mreži služi kao prenosnik za druge čvorove. Svrha mesh mreže je da obezbijedi redudantnu putanju podataka u slučaju kvara na jednom uređaju ili promjena u okolini koje uzrokuju smetnje na radio vezi između uređaja. Drugim riječima, podaci koji se šalju s jednog instrumenta ne moraju direktno ići na gateway ukoliko je taj put blokiran ili je suviše udaljen, nego mogu da „skaču" od jednog susjednog uređaja do drugog sve dok se ne dođe do uređaja koji će te podatke proslijediti gatewy uređaju. Na ovakav način mogu se pokriti velike geografske površine. Ova karakteristika mesh WirelssHART mreže često se naziva self-healing (samoozdravljenje). Uređaji u mreži prate statistiku prometa i šalju je mrežnom upravitelju, kao što su nivo jačine

signala, gubitak paketa prema svakom od susjednih uređaja i otkrivanje novih susjednih uređaja.

Prema HCF fondaciji, pouzdanost dobro organizirane WirelessHART mesh mreže iznosi čak od 99,7300204% kao minimuma, pa sve do 99,9999998%. [7]

Kao kod svih bežičnih uređaja posebna pažnja se mora obratiti na međusobne udaljenosti uređaja. U tu svrhu se uvodi pojam efektivnog dometa (udaljenosti) koja predstavlja linijsku udaljenost između WirelessHART uređaja u prisustvu infrastrukturnih objekata. Ukoliko između uređaja nema prepreka (ostvarena optička vidljivost) tada se može reći da postoji linija vidljivosti LOS (Line od sight) između bežičnih uređaja. Tada je moguće ostvariti maksimalnu udaljenost standardnih WirelessHART transmitera od 225 m, uz jačinu signala od -75dB i uslov da su uređaji montirani barem 2 m iznad površine zemlje, da bi se održala visoka pouzdanost komunikacijskog linka. Ovo je vrlo konzervativna vrijednost koja ostavlja prostor za privremene promjene koje se mogu dogoditi u okolnom prostoru koje mogu uzrokovati slabljenje jačine signala kao što su pojava šuma, prepreka ili čak i jake kiše. Jačina signala manja od -75 dB i dalje će dozvoljavati rad uređaja, ali ne pri 99.995% pouzdanosti kojoj se teži.



Slika 2: WirelessHART mesh mreža

WirelessHART koristi prednosti mesh mreža i pogodnost da je svako mjerno mjesto ujedno i pojačavač signala (repeater), tako da je svaka lokacija u fabrici lahko dostupna putem prosljeđivanja poruka preko susjednih transmitera. Za proračun jačine signala koji se javlja na strani antene prijemnika u idealnim uslovima, a koji je poslan sa antene predajnika poznatom snagom, može se koristi Friisova jednačina

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 \qquad (2)$$

gdje su:

P_r – jačina signala na prijemnoj strani

P_t – jačina signala na predajnoj strani

G_r – pojačanje na prijemnoj strani

G_t – pojačanje na predajnoj strani

R – udaljenost između antena

λ – valna dužina radio signala

Ukoliko je snaga izražena u dBm i pojačanja antena u dB tada se može pisati:

$$P_r = P_t + G_t + G_r + 20\log_{10}\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right) \qquad (3)$$

Posebnu pažnju potrebno je obratiti na sve prepreke koje se mogu naći na putu. Uzevši u obzir da obični zid (malterisani zid) može uzrokovati slabljenje jačine signala za 6 dB, što znači da za dva zida slabljenje iznosi 12 dB. Na ovaj način razdaljina za WirelessHART transmiter se znatno smanjuje na svega 56m. Stoga se obično za procesnu industriju preporučuje maksimalna udaljenost transmitera od 150 m za rijetku gustinu infrastrukturnih objekata (gdje se u infrastrukturne objekte ubrajaju različiti građevinski objekti, metalne konstrukcije i nosači, cjevovodi, spremnici i slično), 75 m za srednju gustinu, a samo 30 m za veliku gustinu infrastrukturnih objekata (obično se to odnosi na centralni dio nekog postrojenja gdje bi transmiter bio okružen različitim cjevovodima i različitim metalnim konstrukcijama, ili unutrašnjost objekata).

3.1. Postavljanje mreže

Postoji nekoliko kriterija na koje je potrebno obratiti pažnju pri kreiranju WirelessHART mreže.

Da bi se minimizirao broj prelaznih tačaka od svakog uređaja do gatewaya i time smanjilo kašnjenje signala, neophodno je da barem pet uređaja bude unutar efektivnog dometa bežičnog gateway uređaja. Takođe, svaki uređaj u mreži trebao bi imati minimalno tri susjedna uređaja. Razlog za ovakvu instalaciju je stvaranje redudantnih komunikacionih putanja prema gatewayu, jer se u slučaju kvara na jednom od uređaja komunikacija može nastaviti preko drugih susjednih uređaja. Pouzdanost mesh mreže zavisi direktno od višestrukih komunikacijskih putanja. Činjenicom da je osigurano više susjednih uređaja u vlastitom dometu svakog uređaja povećava se pouzdanost prenosa podataka.

Svaki gateway ima dvije glavne funkcije, a to su povezivanje bežične mreže i povezivanje ove mreže na host sistem. Optimalna lokacija za bežičnu mrežu je postavljanje gateway uređaja u centar bežične mreže. Na ovaj način osigurava se direktna veza s velikim brojem bežičnih uređaja, a samim tim jaka i sigurna mreža. S druge strane, kao druga najbolja lokacija za instalaciju gatewaya bila bi u blizini host sistema. Često se radi o instalaciji gateway uređaja u komandnom centru uz korištenje udaljenih (odvojenih - remote) antena. Kapacitet gatewaya je obično 100 bežičnih uređaja, i zavisi od proizvođača, s time da se kao najbolja praksa uzima planiranje korištenja nekih 70% kapaciteta svakog gatewaya, a preostali neiskorišteni dio kapaciteta može služiti za daljnja proširenja. Broj gatewaya u postrojenju direktno zavisi od broja bežičnih uređaja koji se planiraju instalirati. Jednostavna jednačina za proračun broja gatewaya je:

$$G = ROUNDUP\left(\frac{WHD}{GC * (1 - RC)}\right) \quad (4)$$

gdje su:
- G – broj gateway uređaja
- WHD – ukupno WirelessHART uređaja
- GC – kapacitet gateway uređaja
- RC – rezervni kapacitet

Prilikom dizajniranja mreže također se kao dobra praksa pokazuje da barem 25% bežičnih uređaja treba biti unutar opsega gatewaya. Ovakvom konfiguracijom osigurava se manje skokova i brži protok informacija.

3.2. Parametri Network ID i Join key

Dva parametra koji su jedinstveni za WirelessHART uređaje i koji moraju biti definisani radi ostvarivanja komunikacije sa gatewayom su Network ID (Network ID -Network Identifier; mrežni identifikator) i Device join key (pristupni ključ uređaja). Svrha Network ID polja je da se svaki uređaj u polju pridruži jednom gatewayu. Svaki WirelessHART gateway je programiran s jednim jedinstvenim Network ID brojem, koji se dijeli s ostalim mrežnim uređajima koji treba da komuniciraju s tim gatewayom. Network ID može poprimiti cjelobrojnu vrijednost od 0 do 36863. Svrha parametra Device join key (pristupni ključ uređaja) je drugačija, a ovaj parametar treba da obezbijedi sigurnost podataka, tako da osigura da samo ovlašteni uređaji mogu postati dio određene mesh mreže. Pristupni ključ uređaja ima dužinu od 4 bajta (128 bita) i znatno je duži od mrežnog ID-a. U jednostavnim WirelessHART sistemima svi uređaji na jednoj mresh mreži dijele isti pristupni ključ, kao što imaju isti i mrežni ID.

Iako je moguće da se mreža konfiguriše tako da svi mrežni uređaji imaju zajednički pristupni ključ, iz sigurnosnih se razloga preporučuje da se svakom od uređaja dodijeli različit pristupni ključ. Mrežni gateway održava i listu svih pristupnih ključeva i njihovih uređaja čime se osigurava da neki drugi uređaj ne postane dio mesh mreže ukoliko on nije posebno programiran.

Radi postizanja veće sigurnosti moguće je konfigurisati gateway da generiše slučajne brojeve za pristupne ključeve, a također je moguće konfigurisati i periodičnu rotaciju pristupnih ključeva uređaja tako da se pristupni ključ jednog uređaja sam mijenja u nekom vremenskom periodu.

Jednom kada WirelessHART uređaj uključi i ispravno konfiguriše s ispravnim parametrima Network ID i pristupnim ključem, te stavi u opseg postojeće mesh mreže, taj uređaj će automatski biti detektovan od strane mrežnog upravitelja.

4. SIGURNOST WIRELESSHART-A

Uopšteno gledajući sigurnost industrijskih aplikacija mora biti na vrlo visokom nivou. WirelessHART obezbjeđuje relativno visoku sigurnost koristeći end-to-end i hop-to-hop sigurnosne mehanizme kroz autentifikaciju i enkripciju podataka na mrežnom sloju i autentifikaciju na podatkovnom sloju (MAC sloj).

MAC sloj obezbjeđuje hop-to-hop integritet podataka koristeći kombinaciju CRC (Cyclic Redundancy Check) i MIC (Message Integrity Code) tehnologija. Iako CRC ima ograničene vrijednosti još uvijek se koristi. WirelessHART koristi 4-bajtni MIC (Message Integrity Code) za autentifikaciju i dekodiranje. MIC se generiše i potvrđuje koristeći CCM* (CCM je Counter with CBC-MAC, dok CBC-MAC predstavlja Cipher Block Chaining Message Authentication Code. Standard CCM* je prošireni CCM) mod sa AES-128 (AES- Advanced Encryption Standard) kao temeljnom blok šifrom za generisanje i upoređivanje MIC-a. CCM* je enkripcijska tehnologija koja se može koristiti i u bežičnoj i u ožičenoj komunikaciji. Kopirana je iz standarda IEEE 802.15.4 koja se bazira na AES algoritmu, a u WirelessHART standardu se ne koristi na identičan način kao što to specificira sam IEEE 802.15.4. Mrežni sloj koristi različite ključeve da osigura povjerljivost i integritet za end-to-end (krajnje korisnike) konekcije. Postoji nekoliko tipova ključeva koji su definisani u sigurnosnoj arhitekturi [2]:

- Jedan javni ključ koji se koristi za generisanje MIC-a na MAC sloju kada mrežni ključ nije primjenljiv.
- Mrežni ključevi koje dijele svi mrežni uređaji i koje uređaji koriste za generisanje MAC MIC-a.
- Pristupni ključevi koji su jedinstveni za svaki mrežni uređaj i koji se koriste u toku procesa priključenja na mrežu radi autentifikacije.
- Sesijski ključevi koje generiše mrežni upravitelj i koji su jedinstveni za svaku konekciju između krajnjih mrežnih uređaja. Oni osiguravaju povjerljivost i integritet podataka. Postoje dvije vrste sesijskih ključeva u zavisnosti da li se radi o unicast ili broadcast ključevima.
- Ručni ključ koji se koristi za direktnu komunikaciju (peer-to-peer) između ručnog prenosnog komunika-

tora (kalibrator) koji služi za konfiguraciju i održavanje mrežnih uređaja. Ovaj ključ obezbjeđuje mrežni upravitelj kada to od njega zatraži prenosni komunikator.

Svi sigurnosni ključevi se obnavljaju i rotiraju u skladu sa sigurnosnim zahtjevima postavljenim od strane administratora. Automatsko upravljanje različitim ključevima je od vitalnog značaja bez kojeg bi sigurnost bila ugrožena. Ručno podešavanje ključeva bi dovelo do povremenih zastoja u radu mreže. Stoga WirelessHART koristi mrežnog upravitelja za distribuciju različitih ključeva, odnosno može se reći da on služi kao distributivni centar za ključeve, dok sigurnosni upravitelj služi za upravljanje ključevima. Upravljanje ključevima uključuje sljedeće akcije [1]:

- generisanje ključeva
- pohranjivanje ključeva
- distribuciju ključeva
- obnavljanje
- opoziv
- provjeru.

Generalno se može reći da WirelessHART objezbjeđuje jaku sigurnost transparentnu aplikacijskom sloju, koja ispunjava sve industrijske potrebe. Jedina ranjivost mreže leži u činjenici da se pristupni ključ mora distribuirati svim uređajima prije inicijalizacije mreže.

5. INTEGRACIJA HART I WIRELESSHART

Razlozi koji opravdavaju integraciju između HART-a i WirelessHART-a mogu se sumirati u sljedeće:

- WirelessHART uređaji i mreže trebaju biti kompaktibilne s postojećim HART-om tako da je integracija jednostavna.
- Pošto su krajnji korisnici navikli da rade sa HART-om novi WirelessHART treba da podržava sve prethodne verzije HART-a.
- Stotine HART baziranih uređaja radi u svijetu, te stoga novi WirelessHART treba biti u mogućnosti da komunicira sa svim već ugrađenim HART uređajima. Stoga mrežna integracija mora biti omogućena između ovih dvaju protokola.

Način integracije između ovih dvaju protokola na sebe je preuzela HCF fondacija [1] koja preporučuje sljedeća tri načina [8]:

- Integracija HART uređaja s WirelessHART mrežom
- Integracija HART mreže s WirelessHART mrežom
- Integracija WirelessHART uređaja s HART mrežom.

HART uređaji mogu se lahko, pouzdano i na siguran način integrisati u WirelessHART korištenjem adaptera. Adapteri se koriste za spajanje jednog ili više HART uređaja na WirelessHART mrežu i predstavljaju elegantno i pouzdano rješenje.

Integracija HART mreže s WirelessHART mrežom ostvaruje se preko gatewaya. HART i WirelessHART predstavljaju različite protokole, a gateway služi kao konverter protokola u cilju njihove integracije. WirelessHART gateway može biti implementiran u PC kartici, kao dio I/O (Input/Output) podsistema ili kao zaseban uređaj.

Postojeće HART mreže ne zahtijevaju da novi WirelessHART uređaji budu integrisani kao dio mreže. Međutim, u budućnosti mogu biti uključeni s nekim dodacima što je korisno za instaliranu HART mrežu [8] .

6. ZAKLJUČAK

Koncept bežične komunikacije u procesnoj industriji je relativno star. Tokom vremena razvile su se različite bežične tehnologije koje su prihvaćene za različite primjene, ali ne u velikoj mjeri u industriji. Neki od ovih bežičnih standarda su: ZigBee, Bluetooth i WiFi IEEE 802.11. Iako su ove tehnologije prihvaćene u različitim aplikacijama, zbog problema vezanih sa strogim zahtjevima za vremensko prikupljanje podataka, zahtjeva za veliku sigurnost podataka kao i zahtjeva za malom potrošnjom energije ovi protokoli nisu uspjeli zadovoljiti sve potrebe industrijske automatizacije. WirelessHART je prvi otvoreni bežični standard koji se koristi u procesnoj industriji i koji u potpunosti zadovoljava sve ključne industrijske zahtjeve kao što su: pouzdanost, mala potrošnja energije, skalabilnost, fleksibilnost, sigurnost i koegzistencija s drugim bežičnim tehnologijama. U budućnosti se očekuje sve veća upotreba bežične tehnologije koja će polahko mijenjati klasičnu ožičenu. Kako postoji sve veća potreba za novim mjernim mjestima i pošto svi korisnici žele jednostavna, pouzdana, brza, sigurna i jeftina rješenja bežična tehnologija se pokazuje kao pravo rješenje koje ispunjava sve postavljene zahtjeve. HART protokol predstavlja jednu od najrasprostranjenihih tehnologija koja se koristi za prenos mjerenih veličina. Veliki broj HART uređaja instaliran je diljem svijeta, a uvođenje bežične komunikacije predstavlja veliki korak ka podizanju nivoa proizvodnje i radnog učinka na viši nivo.

WirelessHART rješenja omogućavaju jednostavan pristup svim važnim informacija iz proizvodnih pogona koji ranije nisu bili lahko dostupni i donosi mogućnost jednostavnog dodavanja novih mjernih uređaja tamo gdje je prilaz bio preskup ili čak potpuno nedostupan.

LITERATURA

[1] S. Kumar Sen: Fieldbus and Networking in Process Automation, CRC Press, 2014.

[2] D. Chen, M. Nixon, A. Mok: WirelessHART Real-Tiem Mesh Network for Industrial Automation, Springer, 2010.

[3] M. Kostadinović, Z. Bundalo, D. Bundalo, P. Gojković: Technical Characteristics of WirelessHART network, 13th International Research/Expert Conference „Trends in the Development of Machinery And Associated Technology" Tunisia, 16-20 October 2009, pp. 845-848.

[4] M. Kostadinović, B. Popović, N. Popović: Dizajn i implementacija mrežnih uređaja koji koriste WirelessHART protokol, Zbornik radova Infoteh-Jahorina Vol.9, Jahorina, Mart 2010, pp 123-127.

[5] M. De Biasi, C. Snickars, K. Landernas, A. J. Isaksson: Simulation of Process Control with WirelessHART Networks Subject to Packet Losses, 4th IEEE Conference on Automation Science and Engineering, Washington USA, August 2008, pp 548-553.

[6] HART Communication Foundation: HART Communication Application Guide, http://www.hartcomm.org, 2014.

[7] T. Kuphaldt: Lessons in industrial Instrumentation, [e-book]: http://www.ibiblio.org/kuphaldt/socratic/sinst/book/liii_2v06.pdf, 2014.

[8] M. Kostadinović, B. Popović: Modeli integracije bežičnih i žičanih industrijskih mreža, Zbornik radova Infoteh-Jahorina Vol 10, Mart 2011, pp 215-208.

BIOGRAFIJA

Adnan Mulaosmanović rođen je u Brčkom 1983. godine. Fakultet elektrotehnike završio je u 2006. godine u Tuzli, a na istom je fakultetu magistrirao 2010. godine. Stalno je zaposlen u firmi Global Ispat Koksna Industrija Lukavac na poslovima održavanja sistema automatskog upravljanja. U istoj firmi zadužen je i za koordinaciju planiranog održavanja.

Od 2007. godine radi kao spoljni saradnik na Fakultetu elektrotehnike u Tuzli, kao asistent na katedri za Računarstvo i informatiku. Od 2013. godine izabran je za višeg asistenta na Katedri za automatiku i robotiku, na kojoj radi kao spoljni saradnik.

U toku studija dobitnik je više Srebrnih i Zlatne plakete Univerziteta.