

# MODELIRANJE DETEKCIJE POGREŠKE U INFORMACIJSKOM SUSTAVU PRIMJENOM INFORMACIJSKE ENTROPIJE

## MODELLING THE FLAW DETECTION IN AN INFORMATION SYSTEM USING INFORMATION ENTROPY

*Marko Posavec, Igor Cerin, Josip Stepanić*

Prethodno priopćenje

**Sažetak:** U članku je na principijelnoj razini postavljen model zrakoplovnog informacijsko-komunikacijskog sustava između perifernih, senzorskih jedinica i središnje, upravljačke jedinice. Numeričkom simulacijom obuhvaćena su dva karakteristična stanja modela: stanje (i) regularne dinamike i stanje (ii) neregularne dinamike. Stanja razlikuje pojava greške koja je karakterizirana po vrsti, učestalosti i relativnom intenzitetu. Prijenos podataka između elemenata sustava opisan je informacijskom entropijom. Razlika između stanja regularne i neregularne dinamike iskazana je promjenama srednje vrijednosti i standardnog odstupanja informacijske entropije. Na temelju dinamike informacijske entropije postavljenog modela izdvojena su odstupanja stanja od regularnoga koja se mogu uočiti praćenjem promjene informacijske entropije od odstupanja za koja to nije moguće provesti.

**Ključne riječi:** informacijsko-komunikacijski sustav zrakoplova, numerička simulacija, informacijska entropija

Preliminary communication

**Abstract:** The article describes the principle level of aircraft information-communication system, containing modelled peripheral or sensory unit and central or processing unit. Numerical simulation is applied onto two states of the system – states of (i) regular and (ii) irregular dynamics. The states are differentiated due to an error that is characterised by the type, rate of occurrence and relative intensity. Data transfer between system elements is described in terms of information entropy. The difference between the state of regular and the state of irregular dynamics is expressed in terms of change of average information entropy and accompanying standard deviation. Based on the dynamics of information entropy for the set model, the deviations from a regular state that can be observed using information entropy were separated from the deviations that cannot be observed using it.

**Key words:** aircraft information-communication system, numerical simulation, information entropy

### 1. UVOD

Suvremeni informacijsko-komunikacijski sustavi transportnih aviona vrlo su složeni. Sastoje se od relativno velikog broja elemenata grupiranih u više hijerarhijskih razina. Tok podataka između elemenata je stalan i propisane strukture. U takvom sustavu nalaze se trenutni i prethodni podaci o stanju svih praćenih cjelina aviona, atmosfere i ostale okoline aviona [1, 2].

Informacijsko-komunikacijski sustavi aviona validirani su prije korištenja [1]. Složenost strukture, brojnost predviđenih regularnih procesa i visoki zahtjevi na pouzdanost rada tih sustava rezultiraju izrazito temeljitom i složenom validacijom. Odstupanja od regularnog stanja, čije posljedice mogu biti katastrofalne, uobičajeno se ograničuju na vjerojatnost jedne pojave tijekom  $10^9$  sati leta [3, 4]. U zabilježenim odstupanjima od regularnog stanja uočeno je više uzroka.

Ovaj rad temelji se na pretpostavci da određen postotak odstupanja prati dinamika sljedećeg tipa:

odstupanja počinju kao varijacije prihvatljivih raspona, narastaju izvan dopuštenih iznosa kad nastupa detektirano neregularno stanje i provedba posebnih mjera. Za opisanu dinamiku karakteristično je određeno vrijeme narastanja odstupanja tijekom kojega se više puta bilježi stanje cjelina u kojima se odstupanje manifestira.

Za takvu dinamiku odstupanja postavljaju se dvije hipoteze: (H1) narastanje odstupanja traje više vremenskih jedinica tijekom kojih se trenutno stanje odstupanja bilježi u informacijsko-komunikacijskom sustavu aviona, te (H2) zabilježene promjene statistički značajno mijenjaju neke od statističkih mjera toka podataka u sustavu, posebno informacijsku entropiju [5]. Za odstupanja koja ne ispunjavaju hipotezu (H2) podrazumijeva se kako su relativno malih iznosa tako da ne utječu na svojstva leta. S druge strane, za odstupanja koja ne ispunjavaju hipotezu (H1) uzima se kako narastaju izrazito brzo s obzirom na vrijeme odziva informacijsko-komunikacijskog sustava i takva odstupanja nisu izravno razmatrana u ovom radu.

Cjelovita provjera hipoteza zahtijevala bi rad s realnim informacijsko-komunikacijskim sustavom aviona, odnosno pripadnim simulatorom. Za potrebe predstavljanja modela i uvođenja kriterija odlučivanja postavljen je principijelni, vrlo pojednostavljeni model informacijsko-komunikacijskog sustava. Postavljeni model sustava sastoji se od jednog izvora podataka u pripadnom kontekstu. Na tom modelu određuju se sljedeće veličine: srednja vrijednost i standardna nepouzdanost informacijske entropije i to za stanje bez odstupanja i za stanje narastajućeg odstupanja, tj. regularno, odnosno neregularno stanje.

Model je opisan u sljedećem odjeljku. Rezultati numeričke simulacije modela i diskusija o rezultatima prikazani su u trećem odjeljku. Četvrti odjeljak zaključuje rad te daje smjernice nastavka istraživanja.

## 2. MODEL INFORMACIJSKO-KOMUNIKACIJSKOG SUSTAVA

### 2.1. Polazne veličine

Model sustava sastoji se od jednog senzora, komponente za prijenos elektroničkih podataka, središnje jedinice te protokola za prijenos podataka. Senzor šalje skalarnu podatke. Niz podataka koje senzor šalje središnjoj jedinici je vremenska serija. Komponente za prijenos elektroničkih podataka uključuju moguće pretvornike (npr. analogno-digitalni pretvornik), vodiče i druge hardverske i softverske komponente. Protokol za prijenos podataka, npr. ARINC 429 [6], definira učestalost uzorkovanja podataka. Time posljedično definira i vremensku jedinicu, tj. korak kojim u središnju jedinicu pristiže novi podatak. Zbog takve diskretnosti prikupljanja podataka uzima se kako je vrijeme u modelu diskretna varijabla. Zbog toga se posebno ne razlikuje vremensku jedinicu od rednog broja određenog podatka. Atmosfera u modelu sudjeluje neizravno u vidu utjecaja na iznos mjerene veličine. Zbog preciziranja pristupa uzima se kako avion leti ukupnom brzinom stalnog iznosa i horizontalnog smjera u određenoj atmosferi. Senzor je Pitotova cijev ili kombinacija Pitotove cijevi i otvora za statički tlak. Mjereni podatak je iznos brzine aviona. Zbog niza faktora koji se pritom javljaju, kako u sastavu i dinamičkim atmosferi tako i u svojstvima komponenti za prijenos elektroničkih podataka, uzima se da se brzina prikazivana na brzinomjeru nasumično, relativno malo mijenja u vremenu. Uz pretpostavku kako je broj uzroka promjene indicirane brzine relativno velik, kako su ti uzroci međusobno neovisni i kako je pojedini od njih gotovo infinitezimalno malog iznosa, slijedi da je raspodjela indiciranih brzina u koracima slučajna varijabla opisana normalnom raspodjelom kojoj je srednja brzina jednaka postavljenoj indiciranoj brzini leta, a raspon odstupanja jednak mjeri utjecaja svih uzroka promjena. Središnja jedinica se uzima implicitno, kao mjesto na kojemu se bilježe iznosi indicirane brzine, tj. podaci iz odgovarajuće vremenske

serije čime se završava komponenta za prijenos elektroničkih podataka.

Za potrebe kvantificirane, numeričke simulacije, prenošeni podatak označen je kao  $x$ . Iznos izvorne veličine, brzine leta u odnosu na atmosferu, analogna je veličina. Međutim, prema suvremenim protokolima podaci kojima se barata unutar informacijsko-komunikacijskog sustava digitalne su, dakle diskretizirane varijable. Međutim, njihova razlučivost znatno je profinjenija od razlučivosti razina varijable s kojima će se reprezentirati pojedino stanje. Vremenska serija uzastopnih iznosa podatka je  $\{x_k\}$ . Srednja vrijednost i pripadno standardno odstupanje vremenske serije su  $\bar{x}$ , odnosno  $\sigma_x$ , i uzimamo kako se te vrijednosti ne razlikuju značajno od očekivane vrijednosti i korijena varijance odgovarajuće normalne raspodjele  $E(x)$ , odnosno  $\sigma(x)$ . Iz spomenutoga slijedi da su sve razmatrane vremenske serije dovoljno reprezentativne da ih se smatra nizovima koji su isto raspodijeljeni, tako da su im veličine  $\bar{x}$  i  $\sigma_x$  reprezentacije odgovarajućih veličina pripadne normalne raspodjele.

Za nasumičnu varijablu  $x$  kojoj je funkcija raspodjele vjerojatnosti  $p(x)$  određuje se informacijska entropija  $H$  prema izrazu [5].

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log_2 p(x) dx, \quad (1)$$

u kojemu  $\log_2(\cdot)$  označava logaritam po bazi 2. Mjerna jedinica informacijske entropije je bit. Informacijska entropija u (1) je funkcional. Slijedom formuliranih pretpostavki, uzimamo da se bez značajne razlike ta entropija može izračunati za konačnu vremensku seriju  $\{x_k\}$  diskretne varijable  $x$  prema izrazu

$$H = - \sum_n f_n \log_2 f_n, \quad (2)$$

pri čemu je  $f_n$  relativna frekvencija razine  $x_n$  diskretne varijable  $n$ :

$$f_n = \frac{|\{x | x \in \{x_k\} \vee x = x_n\}|}{|\{x_k\}|} \quad (3)$$

U izrazu (3) oznake  $||$  u brojniku i nazivniku znače broj elemenata konačnog skupa. Zbrajanje u (2) provodi se po svim razinama varijable  $x$ . U slučaju polazno diskretne varijable  $x$ , te su razine različiti iznosi  $x$ . U slučaju polazno kontinuirane varijable  $x$ , nju je potrebno npr. diskretizirati primjenom analogno-digitalnog pretvornika, a broj razina je ovisan o razlučivosti pretvornika. Varijabli čija je razlučivost u informacijsko-komunikacijskom sustavu znatno veća od one potrebne za izvrijednjavanje entropije, prema prethodno spomenutom, također se pristupa kao efektivno-analognom varijabli. Tako se transformira u razine potrebne za određivanje entropije pa se i njoj smanjuje razlučivost. U skladu s uobičajenim konstruiranjem razina diskretne varijable raspodijeljene po normalnoj raspodjeli, iznosima kojima pripadaju relativno male vjerojatnosti (tzv. iznosima na „repovima“ raspodjele) pripisana je po jedna razina.

Za  $N$  različitih vremenskih serija  $\{x_k\}_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ), primjenom (2) dobivaju se različiti iznosi entropije. Za

raspodjelu entropije  $\{H_i\}$  uzimamo da je normalna raspodjela, pripadne srednje vrijednosti  $\bar{H}$  i standardnog odstupanja  $\sigma_H$ , određena izrazima:

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i, \quad (4)$$

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2} \quad (5)$$

## 2.2. Regularno stanje

Regularno stanje je ono za koje vrijedi:

$$\bar{x} = 370,4 \text{ km/h} = 200 \text{ kt}$$

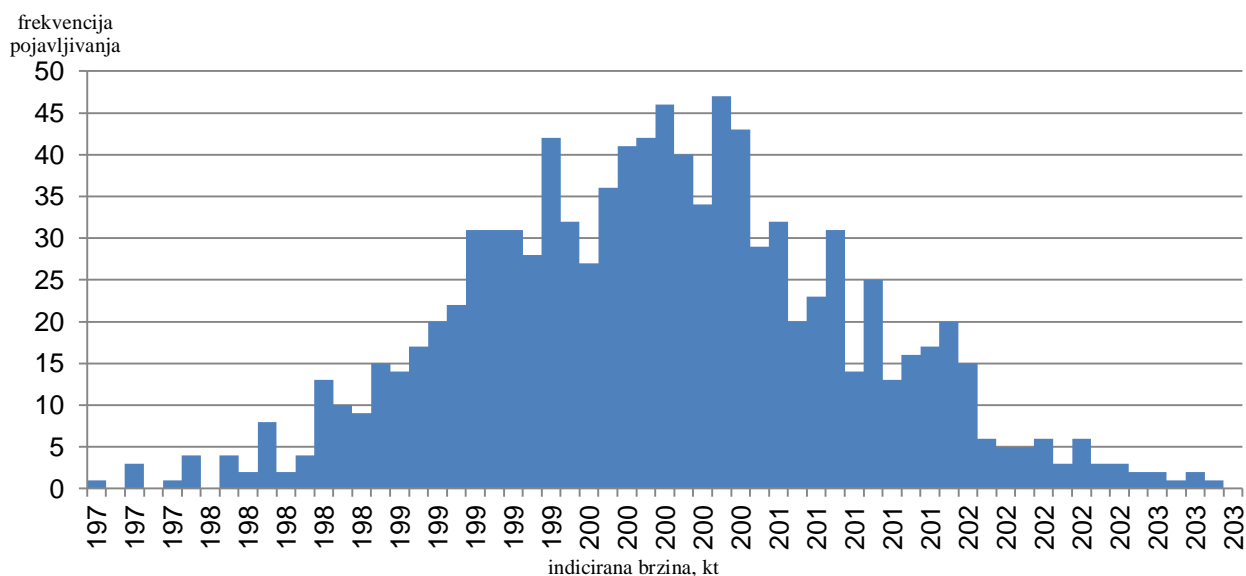
$$\sigma_x = 5,56 \text{ km/h} = 3 \text{ kt}$$

Nadalje će se iznosi brzina, u skladu s oznakama u zrakoplovstvu, navoditi u jedinicama *knot* (kt, čvor). Za informacijsku entropiju je prema (2), (3), (4) i (5):

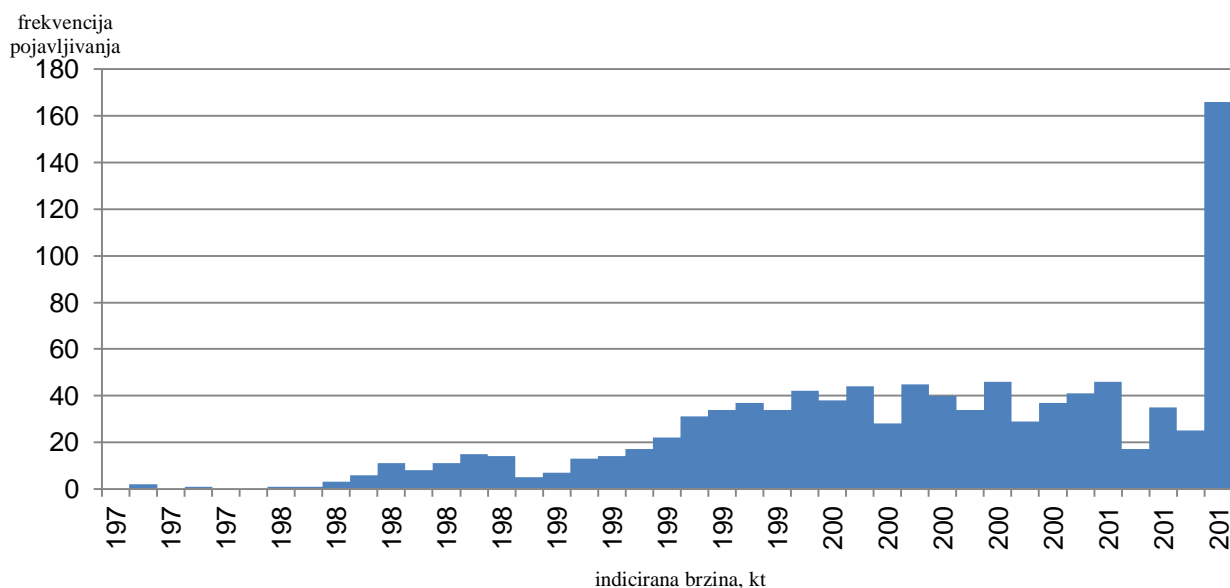
$$\bar{H} = 5,18 \text{ bit}$$

$$\sigma_H = 0,06 \text{ bit}$$

Tipična raspodjela iznosa indicirane brzine u vremenskoj seriji od  $N = 1000$  uzastopnih iznosa prikazana je na slici 1. Za veći broj podataka  $N$  raspodjela postaje sve sličnija normalnoj raspodjeli. Prikazani podaci grupirani su u 60 razina. Ova i sve druge raspodjele dobivene su simulacijom podataka po normalnoj ili drugim raspodjelama u sklopu programa MS Excel. Za promjene broja razina dolazi do određenih promjena iznosa srednje vrijednosti informacijske entropije. Razlike srednjih vrijednosti informacijske entropije su neznatne, za relativno



**Slika 1.** Histogram frekvencija pojavljivanja ( $Nf_n$ ) razina vremenske serije od  $N = 1000$  podataka za indiciranu brzinu. Razine su raspona  $\pm 0,1$  kt oko spomenutog iznosa.



**Slika 2.** Histogram frekvencije pojavljivanja ( $Nf_n$ ) razina vremenske serije od  $N = 1000$  podataka za indiciranu brzinu u neregularnom stanju za  $x_G = 201,0$  kt. Razine su raspona  $\pm 0,1$  kt oko spomenutog iznosa.

veliki raspon broja razina u smislu da njihove brojčane vrijednosti nisu identične, ali su znatno manje od pripadnih standardnih odstupanja. Ukupno trajanje prenošenja vremenske serije regularnog stanja je 20 s, jer je trajanje vremenskog intervala između dva uzastopna podatka za brzinu  $x$  iznosa 20 ms u skladu s protokolom ARINC 429.

### 2.3. Neregularno stanje

Neregularno stanje je stanje u kojemu je nastupila greška. U ovome modelu greška je značajno odstupanje indicirane varijable od predviđene vrijednosti, iako se nije promijenila brzina leta u odnosu na atmosferu. Razlozi takvog odstupanja mogu biti brojni. Bez daljnjeg preciziranja, modeliramo grešku na sljedeći način: ako je trenutna indicirana brzina u regularnom stanju  $x_{\text{reg}}$  manja ili jednaka nekoj karakterističnoj brzini  $x_G$ , onda je u neregularnom stanju indicirana brzina  $x_{\text{nonreg}}$  jednaka trenutnoj brzini u regularnom stanju. Ako je trenutna indicirana brzina u regularnom stanju  $x_{\text{reg}}$  veća od  $x_G$ , onda je trenutna indicirana brzina u neregularnom stanju  $x_{\text{nonreg}}$  jednaka  $x_G$ . Dakle:

$$x_{\text{nonreg}} = \begin{cases} x_{\text{reg}}, & x_{\text{reg}} \leq x_G, \\ x_G, & x_{\text{reg}} > x_G. \end{cases} \quad (6)$$

Na slici 2. prikazana je tipična raspodjela podataka iz vremenske serije od  $N = 1000$  uzastopnih iznosa indicirane brzine za  $x_G = 201$  kt. Uočljiva je maksimalna frekvencija pojave indicirane brzine razine 201 kt. Ta razina obuhvaća sve pojave iznosa indicirane brzine veće ili jednake  $x_G = 201$  kt u vremenskoj seriji i predstavlja određenu pogrešku u sustavu. Prikazano odstupanje predstavlja određenu klasu pogreški u senzoru ili drugim cjelinama modeliranog informacijsko-komunikacijskog sustava. Uz odstupanje, definirano drukčije nego (6), moguće je obuhvatiti i različite druge, jednostruke ili višestruke, stacionarne ili nestacionarne pogreške.

Srednju vrijednost i standardno odstupanje informacijske entropije u neregularnom stanju označavamo s  $\bar{H}(x_G)$ , odnosno  $\sigma(x_G)$ .

Prema hipotezi (H1), narastanje odstupanja traje određeno vrijeme, tj. greška narasta tijekom određenog broja koraka. Prije nastupanja greške vremenske serije su oslikavale stacionarno regularno stanje. Nakon nastupanja greške kontinuirano se mijenja srednja vrijednost entropije, dok se nakon određenog vremenskog razdoblja ne postigne stacionarna vrijednost  $\bar{H}(x_G)$ . Srednje vrijednosti entropija izvrijednjenih tijekom narastanja pogreške označavamo kao  $\bar{h}(t)$ . Pripadne granične vrijednosti su  $\bar{h}(0) = \bar{H}$  i  $\bar{h}(t \rightarrow \infty) \rightarrow \bar{H}(x_G)$ . Uočimo,  $\bar{H}(x_G \rightarrow \infty) \rightarrow \bar{H}$ .

### 3. REZULTATI SIMULACIJE I DISKUSIJA

Promjena srednje vrijednosti entropije prikazana je skalirano: na ordinati grafa na slici 3. prikazan je omjer promjene iznosa srednje informacijske entropije i standardnog odstupanja informacijske entropije regularnog stanja. Na apscisi istog grafa prikazana je

razlika karakterističnog, graničnog iznosa pogreške indicirane brzine i srednje vrijednosti indicirane brzine regularnog stanja, podijeljena sa standardnim odstupanjem indicirane brzine regularnog stanja.

Vremenska ovisnost informacijske entropije izvrijednjene za vremensku seriju tijekom narastanja pogreške,  $\bar{h}(t)$  prikazana je na slici 4.

Veličine koje se odnose na entropiju uvijek su izvrijednjene primjenom izraza (2) na odgovarajuću vremensku seriju. Vremenske serije korištene u različitim trenucima djelomično se preklapaju. Potrebno je razjasniti zašto se pogreška u indiciranoj brzini uvodi trenutno, dok se s obzirom na entropije govori o narastanju odstupanja. Razlog je u tome što vremenske serije iz kojih se računaju veličine vezane uz entropiju, neposredno nakon uvođenja pogreške (6), znatnim dijelom obuhvaćaju iznose indiciranih brzina generiranih u trenucima prije uvođenja pogreške (6), dakle kad je indicirana brzina opisana po raspodjeli regularnog stanja. Kako se entropijske veličine računaju u sve kasnijim trenucima, udio vremenske serije koji pripada indiciranim brzinama određenim prema (6) je sve veći, zbog čega je udio neregularnog stanja u ukupnom stanju kojeg opisuje vremenska serija sve veći. Statistički gledano, tijekom prijelaznog razdoblja statistička težina regularnog stanja smanjuje se od 1 do 0, a statistička težina neregularnog stanja raste od 0 do 1.

Prema grafu na slici 3., pri malim odstupanjima od regularnog stanja ( $x_G > 202,25$  kt) srednja vrijednost informacijske entropije  $\bar{H}(x_G)$  veća je od srednje vrijednosti entropije regularnog stanja  $\bar{H}$ . Relativno povećanje iznosi do 1%. Razloge spomenutom povećanju treba tražiti u promjeni oblika raspodjele varijable  $x$  u vremenskoj seriji  $\{x_k\}$  – za relativno velike iznose  $x_G$  lokalni maksimum raspodjele (na razini upravo  $x_G$ ) nije izražen i ne prevladava. Međutim, bez obzira na smanjivanje intervala unutar kojeg je raspodjela različita od nule, lokalni ekstrem doprinosi uniformnosti raspodjele, daje veću težinu ekstremnijim vrijednostima indicirane brzine i efektivno povećava nesigurnost u predviđanju indicirane brzine, tj. povećava informacijsku entropiju. Dakle, u toj granici odstupanja definiranih izrazom (6) sustav efektivno postaje neuređeniji prilikom postizanja neregularnosti stanja.

Kako se  $x_G$  približava  $\bar{x}$ , utjecaj odstupanja je sve veći tako da je i relativna apsolutna promjena entropije sve veća, a pritom se samoj entropiji smanjuje iznos. To je u skladu s činjenicom da se u tom području znatno smanjuje raspon razina za koje je raspodjela indiciranih brzina različita od nule čime se smanjuje neizvjesnost u sustavu, predviđanje indicirane brzine postaje izvjesnije, odnosno narastanje odstupanja vodi na uređenije neregularno stanje. S obzirom na razliku  $x_G - \bar{x}$ , promjena entropije je simetrična tako da je u (6) bilo dovoljno razmatrati grešku indicirane brzine u jednom krilu raspodjele što se tiče srednje vrijednosti regularnog stanja.

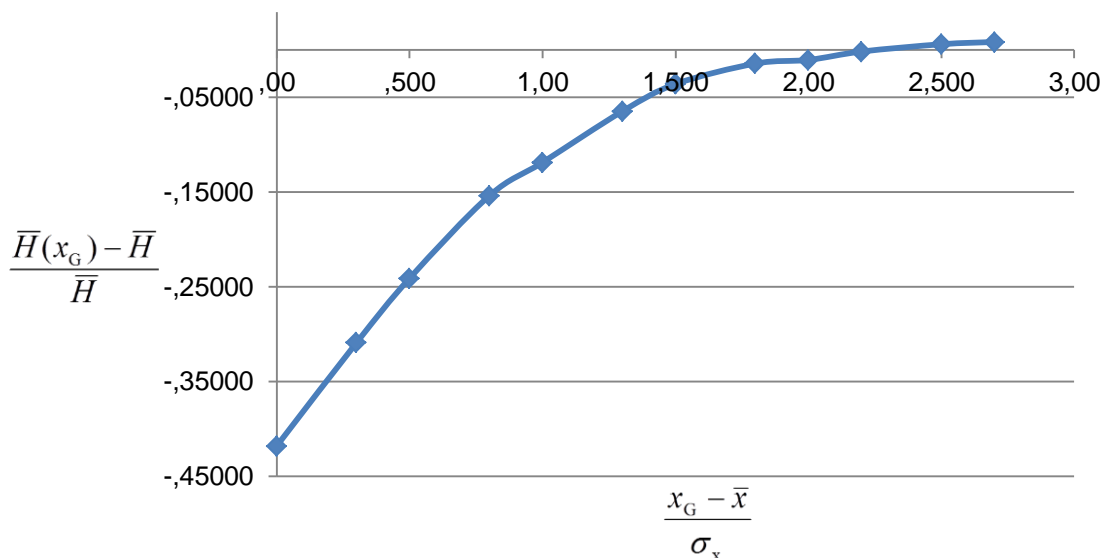
Osim samog narastanja odstupanja posebno su važna pitanja:

1. Je li  $\bar{H}(x_G)$  značajno različito od  $\bar{H}$

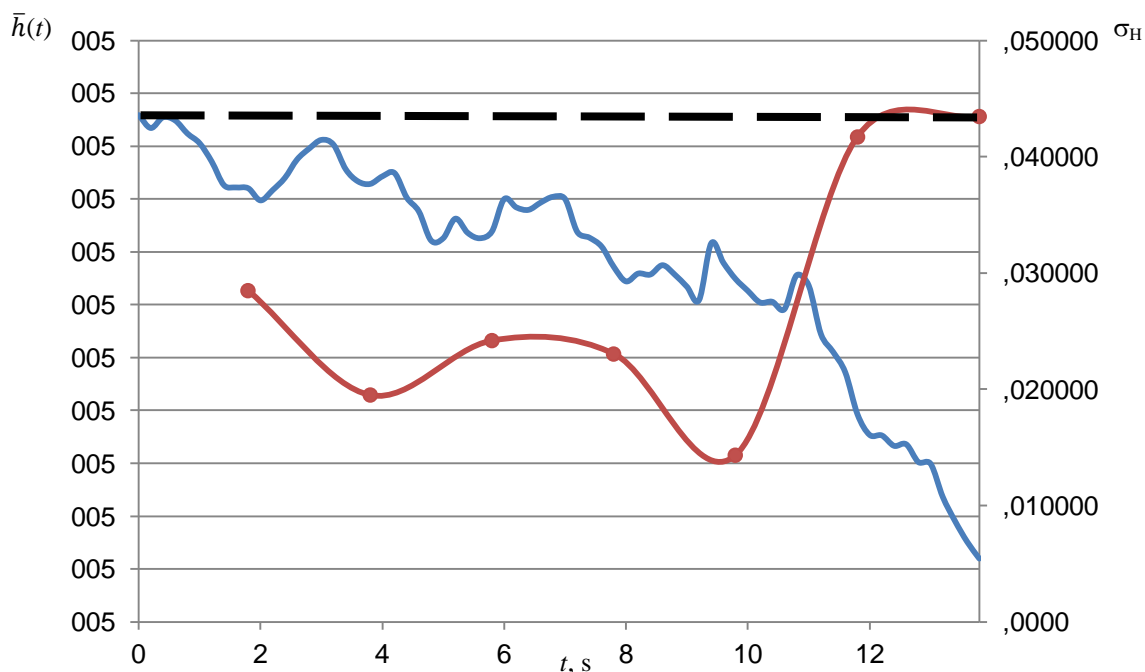
2. Ako je odgovor na prethodno pitanje potvrđan, u kojem trenutku  $\tau$  za dani  $x_G$  odstupanje  $\bar{h}(\tau)$  postaje značajno različito od  $\bar{H}$

Odgovori na ova pitanja mogu se dati statistički u smislu da se razmatraju raspodjele entropija opisane srednjim vrijednostima  $\bar{H}$ , odnosno  $\bar{H}(x_G)$  i pripadnim srednjim odstupanjima. Zatim se primjenom uobičajenih testova za zadanu razinu značajnosti provjeri je li razumno tvrditi kako su razlike između

raspodjela značajne, odnosno je li razumno tvrditi kako su raspodjele statistički jednakovrijedne [7]. Nisu apsolutno zadani iznosi razlika pri kojima se za postavljenu razinu značajnosti prihvaća ili odbija tvrdnja o jednakovrijednim (različitim) raspodjelama, nego ih treba postaviti nakon temeljitog razumijevanja modela. Na razini ovog članka, s obzirom na uvedena pojednostavljenja, nije smisleno postavljati utvrđene granice razlika srednjih vrijednosti entropija.



Slika 3. Relativna promjena entropije u ovisnosti o skaliranoj razini pogreške



Slika 4. Ovisnost srednje vrijednosti entropije neregularnog stanja  $\bar{h}(t)$  i pripadnog standardnog odstupanja  $\sigma_H$  o vremenu  $t$ . Plava krivulja odnosi se na entropiju (os s lijeve strane grafa), a crvena na standardno odstupanje (os s desne strane grafa). Masno otisnuta iscrtkana linija iznosa entropije  $\bar{H} = 5,18$  je referentna vrijednost.

Umjesto toga pretpostavit ćemo da za apsolutnu vrijednost razlike srednjih vrijednosti entropija regularnog i neregularnog stanja

$$R = |\bar{H} - \bar{H}(x_G)| \quad (6)$$

postoji kritični iznos  $R_{cr}$ , tako da pri  $R > R_{cr}$  statistički smatramo kako je odstupanje dovoljno intenzivno da se

analizom entropija uoči postojanje greške koja je odstupanje uzrokovala.

Neovisno o samom iznosu  $R_{cr}$  moguća su tri ishoda:

1.  $R \ll R_{cr}$ , npr.  $R < \sigma_H$  ili neke slične mjere
2.  $R \approx R_{cr}$
3.  $R > R_{cr}$

U 1. slučaju odstupanje nije moguće uočiti primjenom analize entropije. U trećem slučaju odstupanje je moguće uočiti primjenom analize entropije, štoviše uočavanje je moguće već u nekom relativno kratkom vremenu  $\tau$ . U drugom slučaju zapravo nije razumno zaključivati o značajnosti utjecaja odstupanja primjenom opisane analize entropija. U nedostatku daljnjih podataka, ovaj se slučaj razrješuje isto kao i slučaj 1. U slučaju mogućnosti generiranja dodatnih podataka koji se odnose na indiciranu brzinu (npr. većom učestalošću uzorkovanja tog podatka), odnosno na drugu mjerenu veličinu funkcionalno povezanu s njom (bilo da je riječ o istoj veličini mjerenoj drugim senzorom, ili kvalitativno drugačiju mjerenu veličinu), postoji mogućnost pretvaranja ovog slučaja u 3. slučaj. Slično tome, u 3. slučaju, nakon fokusiranja na utjecaj odstupanja na  $\bar{h}(\tau)$ , moguće je pretjeranim inzistiranjem na što ranijem uočavanju narastanja odstupanja opet ostvariti 2. slučaj.

Neovisno o tome što se brojčane vrijednosti razlikuju, pojava greške kakvu npr. opisuje izraz (6) označava suštinsku promjenu raspodjele i nemogućnost korištenja standardnih testova za standardna odstupanja, a naknadno za srednje vrijednosti. Na ovoj principijelnoj razini nije dolazila do izražaja promjena raspodjele, jer ni raspodjele koje se odnose na regularno i neregularno stanje nisu uspoređivane po standardnim testovima.

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je primjenjena metoda analize informacijske entropije na podatke koje se odnose na promjenjivo stanje neke mjerene veličine. U slučaju hipotetske greške, popratna promjena veličina vezanih s entropijom koristi se kao indikator pojave i narastanja odstupanja.

Postavljen je model principijelne razine s jednom varijablom za koju se analiziraju vremenske serije dobivene bilježenjem uzastopnih iznosa varijable kako ih odašilje senzor. Model služi kao polazište razvijenijih, utemeljenijih modela čije postavljanje zahtijeva prethodno poznavanje realističnih raspodjela podataka u regularnim stanjima, te realistično modeliranje greške i njenog utjecaja na odstupanja mjerenih i proračunanih veličina. Numeričkom simulacijom modela ustanovljeno je za koje iznose modelirane greške dolazi do statistički uočljivih promjena u raspodjeli podataka koje tijekom stacionarnog leta odašilje senzor.

Karakteristično trajanje uočavanja vezano je uz specifičnost modela. Za očekivati je kako će se u slučaju više varijabli pojedina od njih rjeđe bilježiti. Shodno tome će se narastanje odstupanja i mogućnost njegovog uočavanja produljiti u vremenu.

Sama po sebi, višedimenzionalnost, u smislu matematičke neovisnosti mjerenih veličina, omogućuje pouzdanije uočavanje narastanja odstupanja praćenjem većeg broja dimenzija. To je u skladu s polazišnom idejom da se ovu metodu primijeni na odstupanja koja

narastaju tijekom vremena, koja se zapažaju kao poremećaji na razini cijelog sustava ili bar većeg broja njegovih elemenata. Pritom iznos poremećaja na pojedinom elementu nekog avionskog sustava tijekom relativno dugog vremenskog intervala ne prelazi kritičnu vrijednost koja bi dovela do alarma i pokretanja prinudnih postupaka neovisno o promjenama u drugim dijelovima sustava.

Naposljetku, svi spomenuti rezultati pretpostavljali su, izravno ili neizravno, normalne raspodjele u podlozi izračuna. Dok je to ispravno pretpostaviti za regularno stanje, raspodjele vezane za neregularno stanje nisu normalne raspodjele već su općenito neparometrijske raspodjele. U tom smislu usporedba regularnog i neregularnog stanja na temelju srednjih vrijednosti i standardnih odstupanja entropija predstavlja samo okvirnu mjeru statističke usporedbe.

#### 5. LITERATURA

- [1] Spitzer, C. R., ur.: Avionics Development and Implementation, CRC Press, 2006.
- [2] Čosić, J.; Štepanić, J.: Case Study in Innovation Diffusion: Aircraft Electrical System. Međunarodno savjetovanje Information Society 2011, Zbornik, Ljubljana, 2011.
- [3] Spitzer, C. R.: Setting Requirements. Odj. 19.1. Spitzer, C. R., ur.: The Avionics Handbook. CRC Press, 2001.
- [4] McCormick, F.: Certification of Civil Avionics. Odj. 23.6. Spitzer, C. R., ur.: The Avionics Handbook. CRC Press, 2001.
- [5] Sinković, V.: Informacija, simbolika i semantika, Školska knjiga, 1997.
- [6] ARINC Inc.: ARINC Specification 429 Part 1-17, ARINC Inc., Annapolis, 2004.
- [7] Montgomery, D. C.; Runger, G. C.: Applied Statistics and Probability for Engineers (Third Edition), John Wiley & Sons, Inc., 2003.

#### Kontakt autora:

**Marko Posavec, mag. ing. aero. ing.**  
S IT SOLUTIONS HR D.O.O.  
[marko.posavec@gmail.com](mailto:marko.posavec@gmail.com)

**Igor Cerin, stručni suradnik**  
Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje  
Ivana Lučića 5  
10002 Zagreb  
[igor.cerin@fsb.hr](mailto:igor.cerin@fsb.hr)

**izv.prof.dr.sc. Josip Štepanić**  
Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje  
Ivana Lučića 5  
10002 Zagreb  
[josip.j.stepanic@fsb.hr](mailto:josip.j.stepanic@fsb.hr)