

GNSS PROGRAMMATŪRAS SENSORI

SENSORS OF THE SOFTWARE GNSS

Inese Janpaule LU Ģeodēzijas un ģeoinformātikas institūts, pētniece
e-pasts: inesej@inbox.lv
tel.: +371 28225812

Atslēgas vārdi: GNSS, programmatūras sensors, programmatūras uztvērējs

Ievads

Pēdējos gados ir parādījusies jauna tendence aizstāt dažas aparatūras komponentes GNSS uztvērējā ar uz programmatūru bāzētu signālu apstrādes tehniku un tā jau ir parādījusi priekšrocības modelējot jaunas iekārtas un analizējot signālu kvalitāti un izpildi. Tagad daži attīstītāji mēģina palielināt elastīgumu un rentabilitāti gan uz programmatūru bāzētiem uztvērējiem, gan komerciāliem lietotāju produktiem, ietverot mobilas ierīces ar GNSS funkcionalitāti.

Jaunā plānojuma GNSS uztvērēji digitizēšanu veic tuvu uztvērēja antenas signāla fronteī. Pilnveidojot sistēmu, tā darbojas aizvien augstākās frekvencēs un plašākā frekvenču joslā. Šis uztvērēju attīstības pavērsiens balstās uz agrākajiem programmatūras uztvērējiem (*SR – software receiver*) vai uz programmatūru bāzētiem uztvērējiem (*SDR – software defined receiver*), kas tika izveidoti signālu apstrādes tehnoloģijā militāram pielietojumam.

Šobrīd GNSS programmatūras uztvērēji ir sasnieguši ievērojamu tehnoloģisku un izplatības līmeni, īpaši signālu analizē un uztvērēju tehnoloģijā, un parādās papildus iespējas daudz plašākai izmantošanai. [1.]

GNSS SR vēsture

90-to gadu sākumā ASV karaspēka dienesti saskārās ar dažādiem ar komunikācijām saistītiem jautājumiem. Tie ietvēra komunikāciju ar sabiedrotajiem izmantojot tehnoloģijas ātrās nomaiņas priekšrocības globālās atbalsta struktūrās, vienlaicīgi izslēdzot jebkādu nesankcionētu ziņojumu pārtveršanu.

Tajā laikā militāra uztvērēja konstrukcijas pamatā bija aparatūras tehnoloģijas, kas tika pielāgotas atsevišķu, specifisku uzdevumu izpildei. Parasti bija nepieciešams 30 gadu ilgs attīstības posms, lai iepriekšējās paaudzes produkts tiktu aizstāts ar jauna dizaina nākošās paaudzes produktu. Tomēr 90-to gadu laikā tehnoloģiju attīstību sāka noteikt rūpnieciska uztvērēju izmantošana, tā, ka efektīvais komerciālās komponentes mūžs saruka līdz mazāk nekā diviem gadiem.

Šo iekārtas konstrukcijas un attīstības izmaiņu rezultātā tika uzsākts ASV Aizsardzības departamenta (DoD) daudzfāzu savienojuma pakalpojumu projekts, ko nosauca “*Speakeasy*”, ar mērķi pārbaudīt programmējama daudzfrekvenču un daudzrežīmu uztvērēja koncepciju. “*Speakeasy*” projekts apstiprināja pieeju, uz kuras balstās daudzi programmatūras uztvērēji:

analogi-digitāls konvertators (*ADC – analog to digital converter*) ir novietots pēc iespējas tuvāk antenas signāla fronteī. Visas pamatfrekvences funkcijas, kas saņem digitizētus starpfrekvences (*IF – intermediate frequency*) datus, tiek apstrādātas iekšējā programmējamā mikroprocesorā, izmantojot programmatūru nevis aparatūras elementus.

Programmējamās pieejas elastīgums visu pamatfrekvenču funkciju īstenošanā atļauj ātras pārmaiņas un modifikācijas, kas nav iespējamās analogos risinājumos. Šis elastīgums ir priekšrocība militārā sfērā, kur komunicējoties dažādos diapazonos un dažādos komandu līmeņos var rasties nepieciešamība pēc dažādām radio frekvenču RF joslām, modulācijas tipiem, joslas platumiem, izplatīšanas un pamatfrekvences algoritmiem.

SDR ir pamattehnoloģija *JTRS (Joint Tactical Radio System)*, kuras mērķis ir attīstīt programmējamus uztvērējus, kas bez starpniecības nodrošina reālā laika komunikāciju starp ASV karaspēka dienestiem, koalīcijas spēkiem un sabiedrotajiem. *JTRS* funkcionalitāte un paplašināšanas iespējas balstās uz atvērtu struktūru, ko sauc par programmatūras komunikācijas arhitektūru. [1.]

GNSS SR definīcija

Starp pētniekiem un inženieriem komunikāciju un GNSS nozarē ir radušās domstarpības sakarā ar terminoloģiju, kā būtu definējams programmatūras uztvērējs. Piemēram, daži komunikāciju inženieri uzskata, ka uztvērējs, kurš satur daudzas aparatūras daļas dažādām sistēmām, kas var tikt pārveidotas nomainot programmatūras vai aparatūras daļas, ir SR. Šeit izmantosim plašāk pieņemtu SR definīciju, ka tas ir uztvērējs, kurā, aizstājot integrētās mikroshēmas, visa iekšējā digitālo signālu apstrāde tiek nodota programmējamam procesoram.

Iekšējās moderna GNSS uztvērēja funkcijas iekļauj RF signāla frontes bloku (antenu, zema paštrokšņu līmeņa pastiprinātāju un RF integrētu shēmu vai RFIC), sākotnējo signāla iegūšanu, nepārtrauktu sekošanu signālam, bitu un informācijas kadru sinhronizāciju, un visbeidzot navigāciju. Uz aparatūru bāzēti uztvērēji veic ienākošo un replikas signālu sajaukšanu aparatūras korelatorā. Līdz 90-to gadu beigām signālu sajaukšanas funkcija varēja būt praktiski pielietota tikai pienācīgā aparatūras korelatorā, jo tad bija ierobežota mikroprocesora apstrādes jauda.

Tomēr 1990. gadā pētnieki *NASA/Caltech Jet Propulsion* laboratorijā ieviesa signāla iegūšanas tehniku sistēmai sadalāmai kanālos ar CDMA kodu, kas pamatojās uz ātro Furjē transformāciju (*FFT – Fast Fourier Transform*). Šī tehnika tika uzlabota, lai izmantotu FFT un apgriezto FFT GPS signāla iegūšanas tehniku. Kopš tā laika, šī metode ir bijusi plaši izplatīta GNSS SR, tās vienkāršības un efektivitātes dēļ.

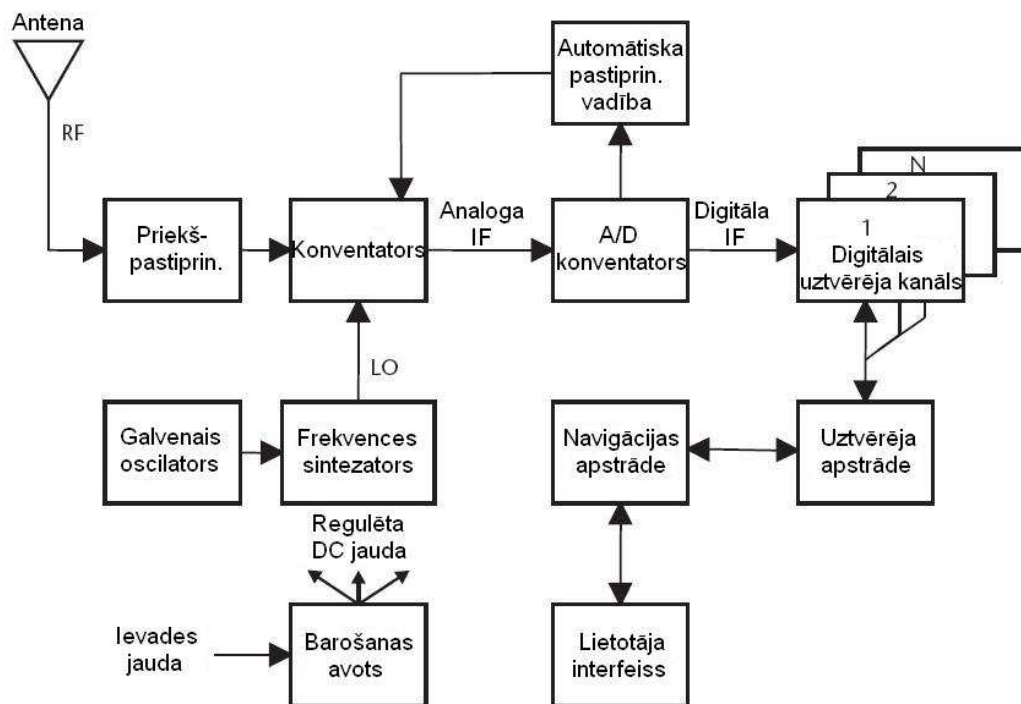
1996. gadā pētnieki Ohio Universitātē izveidoja tiešas digitizēšanas tehniku, sauktu par radioviļņu joslas vadāmības tehniku, kas deva iespēju novietot ADC tuvāk GNSS SR RF sekcijai. Līdz šim laikam universitātes laboratorijās īstenotajiem SR bija jāveic pēcāpstrāde, jo tiem bija nepietiekama apstrādes jauda. Beidzot, 2001. gadā, Stanfordas Universitātes pētnieki īstenoja SR GPS L1 C/A signāliem, ko varēja apstrādāt reālā laikā.

GNSS SR risinājumi

Programmatūras uztvērēju konstrukcija ir ātri attīstījusies līdz augstam digitālo komponentu integrācijas līmenim. Arī mikroprocesori un to specializētie radinieki – DSP (*Digital Signal Processor*) kļūst tik spēcīgi un finansiāli izdevīgi, ka uz programmatūru bāzēti uztvērēji SDR tiek izstrādāti tā, ka vairs netiek izmantotas ierastās signālu apstrādes

komponentes. 1. attēlā redzama augsta līmeņa digitālā GPS uztvērēja vispārēja bloku diagramma, lai attēlotu GPS uztvērēja vispārēju arhitektūru.

Visiem redzamajiem satelītiem GPS radiofrekvences signāli tiek uztverti ar polarizētu signālu antenu, kurai piemīt jūtība virs vietējā horizonta. Šie radiofrekvences signāli tiek pastiprināti ar zema paštrokšņa priekšpastiprinātāju, kas efektīvi nosaka uztvērēja trokšņu ainu. Starp antenu un priekšpastiprinātāju var būt arī pasīvs joslas filtrs, lai samazinātu ārpusfrekvences traucējumus. Šie pastiprinātie un attīrītie radiofrekvences signāli tiek konvertēti uz starpfrekvenci, izmantojot signāla sajaukšanas frekvences no lokāliem oscilatoriem (LO). LO izdala no galvenā oscilatora ar frekvences sintezatoru, kas balstās uz uztvērēja frekvenču tīklu. Katram konvertējumam ir nepieciešams viens LO. Tipiska ir divu pakāpju konvertācija uz starpfrekvenci, bet tiek izmantota arī vienpakāpes konvertācija un pat tieša L frekvences digitāla nolasīšana. Tomēr, tā kā prasītais signāla pastiprinājums ir gandrīz 100 dB pirms digitizēšanas, izmantojot tikai L nesējfrekvences pastiprinājumu, var novest pie uztvērēja paštrokšņa. LO signāla sajaukšanas process rada gan augstas, gan zemas satelītu signālu blakusfrekvences, tāpēc tās tiek nogrieztas ar joslas filtru. Signālu Doplera efekts un PRN kodi ir pasargāti pēc sajaukšanas procesa. Tikai nesējfrekvence ir pazemināta, bet Doplera efekts saglabājas atbilstošs sākotnējam L nesējfrekvences signālam. A/D (analogi/digitālas) konvertēšanas process un automātiskas pastiprinājuma vadības funkcijas notiek ar starpfrekvenci. Bloka diagrammā netiek parādīti pamatfrekvences hronometrāžas signāli, kurus frekvenču sintezators nodod uz digitālā uztvērēja kanāliem ar stingri piesaistītu fāzi uz norādīto oscilatora frekvenci. Starpfrekvencei ir jābūt pietiekoši augstai, lai nodrošinātu vienas puses joslas platumu, kas atbilst PRN kodu sadalošai frekvencei.

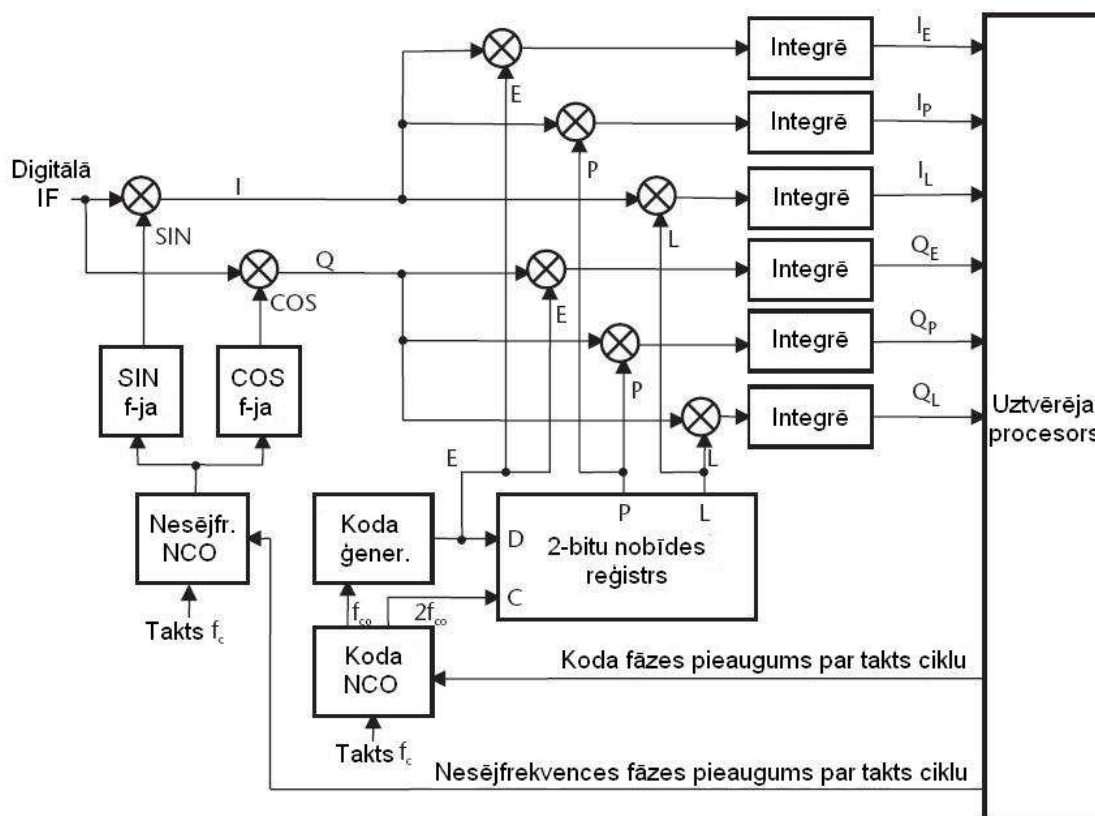


1.att. Vispārēja programmatūras GPS uztvērēja bloku diagramma [2.,155.]

Pēc tam digitizētie starpfrekvences signāli ir gatavi apstrādei ar katru no N digitālā uztvērēja kanāliem. Nenotiek demodulācija, tikai signālu pastiprināšana un sakārtošana, kā arī A/D starpfrekvences konvertēšana. Tradicionāli, šīs digitālā uztvērēja kanāla funkcijas izpilda viena vai vairākas pielietojumu orientētās, integrētās mikroshēmas ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*), bet SDR izmanto programmējamās matricas FPGA (*Field*

programmable gate array) vai pat DSP. Tādēļ arī šīs funkcijas bloka diagrammā 1. attēlā ir parādītas kā atsevišķas no uztvērēja apstrādes funkcijas. Nosaukums “digitālais uztvērēja kanāls” ir nedaudz maldinošs, jo tas nav ne ASIC arī ne FPGA, bet uztvērēja apstrādātas funkcijas, kas parasti izpilda būtiskas un sarežģītas pamatfrekvences funkcijas, tādas kā atgriezeniskas saites diskriminatori un filtri, datu demodulācija, signāltrokšņa mērītājus, un fāzes sinhronizācijas indikatorus. Uztvērēja apstrādes funkcijās parasti ir izmantots mikroprocesors. Mikroprocesors ne tikai veic pamatfrekvences funkcijas, bet arī lēmumu pieņemšanas funkcijas saistītas ar signālu priekšapstrādes vadības funkcijām katrā digitālā uztvērēja kanālā. Tas ir izplatīts, ka atsevišķs ātrgaitas mikroprocesors nodrošina uztvērēja, navigācijas, un lietotāja interfeisa funkcijas.

2. attēlā redzama bloka diagramma, kas ir tipiska vienam no programmatūras uztvērēja kanāliem, kur digitizētais uztvertais starpfrekvences signāls ir pielietots ieejā. Lai vienkāršotu diagrammu, tiek attēlotas tikai funkcijas, kas saistītas ar kodu un nesējfrekvences atgriezenisko saiti, kā arī ir pieņemts, ka uztvērēja kanāls vienmērīgi seko satelīta signālam. Atsaucoties uz 2. attēlu, vispirms ar nesējfrekvences repliku (un nesējfrekvences Doplera efektu) no nesējfrekvences tiek atdalīta digitālā starpfrekvence (un nesējfrekvences Doplera efekts), lai radītu fāzes (I) un kvadrāturfāzes (Q) datus. Jāpiezīmē, ka signāla replikas tiek sajauktas ar pilnīgi visiem radioredzamajiem GPS satelītu signāliem (plus troksnis). I un Q signāliem sajaucēju izejā ir izvēlētas fāzes attiecīgi uz noteiktu nesējfrekvenci no izvēlēta satelīta. Tomēr, kodu izvēles procesi, kas pārveido šos signālus uz pamatfrekvenci, vēl netiek pielietoti. Tādēļ, I un Q signālos nesējfrekvences sajaucēju izejā dominē trokšņi. Izvēlētie satelītu signāli paliek apslēpti troksnī līdz I un Q signāli ir pārveidoti uz pamatfrekvenci ar sekojošo koda izdalīšanas procesu. Replikas nesējfrekvences (iekļaujot nesējfrekvences Doplera efektu) signālus sintezē digitāli kontrolēts oscilators (NCO – numerically controlled oscillator) un atsevišķas sinusu un kosinusu attēlošanas funkcijas.



2.att. Vispārēja programmatūras GPS uztvērēja kanālu bloku diagramma [2.,157.]

Koda atmešanas funkciju varētu izpildīt pirms nesējfrekvences atmešanas funkcijas šajā shēmā, bet tas varētu palielināt nesējfrekvences atmešanas sarežģītību bez jebkādas uztvērēja darbības uzlabošanas. Atmešanas secība mazāk sarežģītā veidā parādīta 2. attēlā.

Vēlāk tiks parādīts, ka NCO rada pakāpes funkciju, kuras periods ir nepieciešamās nesējfrekvences replikas un plus Doplera efekta periods. Sinusu un kosinusu funkcijas pārvērš katru atsevišķu pakāpes funkcijas amplitūdu līdz atbilstošai atsevišķai amplitūdai no attiecīgās sinusa un kosinusa funkcijas. Veidojot I un Q komponenta fāzes nobīdi par 90° , rezultējošā signāla amplitūda tiek rēķināta no vektora I un Q komponentu summas, un fāzes leņķis attiecībā uz I asi var tikt noteikts pēc Q/I arctangenta. Atgriezeniskās saites darbība nesējfrekvences NCO uztvērēja procesorā kontrolē nesējfrekvences sekošanas saiti. Fāzes atgriezeniskās saites (PLL – *phase lock loop*) darbībā, nesējfrekvences sekošanas saites mērķis ir saglabāt fāzes nulto nobīdi starp nesējfrekvences repliku un uztverto satelītu nesējfrekvences signālu. Jebkura novirze pret ienākošo satelīta signāla nesējfrekvences fāzi, izsauc fāzes leņķi un Q vektora magnitūdu, tā lielums un fāzes maiņas virziens tiktu noteikts un koriģēts ar nesējfrekvences sekošanas atgriezenisko saiti. Kad PLL ir piesaistītā fāzē, I signāli sasniedz maksimumu (signāls plus troksnis) un Q signāli sasniedz minimumu (saturot tikai troksni).

2. attēlā I un Q signāli ir korelēti ar agru un vēlu replikas kodu (plus Doplera efekta kods), ko sintezē koda ģenerators, 2-bitu nobīdes reģistrs un koda NCO. Atgriezeniskās saites darbībā, NCO kodu saņēmēja procesorā kontrolē ar koda sekošanas saiti. Šajā piemērā NCO kods ģenerē dubultu koda ģeneratora takti $2f_{co}$ un tā tiek padota 2-bitu nobīdes reģistra takts ieejā. Koda ģeneratora takts frekvence f_{co} kas satur nominālo koda takts frekvenci (plus Doplera efekta kods), tiek padota koda ģeneratoram. NCO takts frekvencei f_c vajadzētu būt daudz augstākai nekā nobīdes reģistra takts frekvencei $2f_{co}$. Ar šo kombināciju nobīdes reģistrs veido divas fāzē aizkavētas koda ģeneratora izejas versijas. Rezultātā, ir trīs koda replikas fāzes - agrā (E), vidēja (P), un vēla (L). Tipiski, E un L fāzē nobīdītas par 1 takti un P paliek vidū. Diagrammā nav parādītas koda ģeneratora kontroles, kas atļauj uztvērēja procesoram iepriekš noteikt sākotnējos koda izsekošanas fāzes stāvokļus, kuri tiek pieprasīti koda meklēšanas un iegūšanas (vai atkārtotas iegūšanas) procesā.

Ātrā koda fāzes replika ir savietota ar ienākošo satelīta koda fāzi, uzrādot maksimālo korelāciju, ja tas seko ienākošai satelīta koda fāzei. Šī apstākļa dēļ, agrajā fāzē ir pievienota agrā perioda takts perioda daļā, un vēlā fāze ir pievienota tajā pašā vēlā perioda takts perioda daļā attiecībā pret ienākošā satelīta koda fāzi, un šie korelatori veido apmēram pusi no korelācijas maksimuma. Jebkura novirze koda fāzes replikā attiecībā uz ienākošo satelīta koda fāzi veido atšķirību vektora lielumos no agrī un vēlu korelētajiem izvades datiem, tā, ka summa un fāzes maiņas virziens var tikt noteikts un izlabots. [2.]

Programmatūras uztvērējus mūsdienās var izmantot komerciālās un izglītības nozarēs. SR attīstība iekļauj ne tikai programmēšanas risinājumus, bet arī atbilstošu signāla frontes īstenošanu.

Kopumā iezīmējušās divas nostādnes – aparatūras un programmatūras uztvērēji. Galvenā nākotnes perspektīva – programmatūras uztvērēji. Tiem piemīt daudzfāzu priekšrocības, konstrukcijas elastīgums, ātrākas piemērošanās spējas un viegla pārveidošana uz jebkuru algoritmu.

Digitizētus platjoslas signālus L1/L2 frekvencē varētu pārsūtīt uz personālo datoru un apstrādāt reālajā laikā. Trīsfrekvenču GPS un Galileo SR ar USB 2.0 pieslēgumu attīstība būs nākamais solis.

Pieaugošās apstrādes jaudas dēļ, reālā laika apstrāde ar ierobežotu multikorelatoru skaitu ir iespējama, tomēr programmatūras uztvērēji noteikti gūs priekšrocības pielietojot jaunus operatīvās atmiņas procesorus.

Pēc apstrāde ir viena no lielākajām programmatūras uztvērēja priekšrocībām, jo tā ļauj vairākas reizes atkārtot tā paša signāla analīzi ar visām pieejamām apstrādes iespējām, un ātri pieaugošā cietā diska ietilpība ļauj glabāt ļoti ilgus novērojumus un lielu datu apjomu.

Literatūra

1. J.H.Won, T. Pany, G.W.Hein. GNSS software defined radio Real receiver or just a tool for experts? Inside GNSS. July/August 2006. – 48.-56.lpp.
2. E.Kaplan, C.Hegarty. Understanding GPS: Principles and Applications. 2nd Edition. 2006. - 155.-158.lpp.

I. Janpaule. GNSS programmatūras sensori

Daudzus gadus GNSS ir veiksmīgi izmantotas gan civilā, gan militārā jomā. Transit, GPS, GLONASS un nākotnes Galileo ir pazīstamākie GNSS piemēri. Visu šo sistēmu uztvērēji bieži tiek definēti kā aparatūras GNSS uztvērēji. Šo uztvērēju lietotājiem ir nelielas iespējas uzdot un īstenot uztvērēja parametrus. Pielāgojamības līmenis ir ierobežots galvenokārt pētniekiem un attīstītājiem, kam ir jāievieš pašiem savi algoritmi. GNSS programmatūras uztvērējs palīdz apstrādāt GNSS signālu vistuvāk sākotnējam GNSS signālam uztvērēja antenā. Šajā rakstā apskatīti GNSS programmatūras sensori, to vēsture, definīcija un daži no risinājumiem.

I. Janpaule Sensors of the software GNSS

GNSS have been used for many years successfully both in civil and military community. Transit, GPS, GLONASS and future Galileo are examples of GNSS. The receivers for all these systems are often called hardware GNSS receivers. A user has fewer possibilities in setting and implementing the parameters in this type of receiver. Especially, the level of flexibility is limited for the researchers and developers to implement their own algorithms. GNSS software receiver helps processing the GNSS signal at the lowest level of GNSS raw signal data from the antenna. In this paper, GNSS software receivers are discussed, GNSS software receiver history, definition and some of the solutions are considered.

Янпауле И. Сенсоры программатуры ГНСС

ГНСС в течении многих лет успешно использовалась как в гражданской, так и в военной сфере. Наиболее известные примеры ГНСС это Транзит ГПС ГЛОНАСС и будущее Галлилео. Приемники сигналов с этих систем часто называют приемниками аппаратуры ГНСС. Пользуясь этими приемниками возможности задать и зафлизовать параметры приемника небольшие. Уровень приспособления ограничен в большинстве случаев для исследователей и разработчиков которые вынуждены для себя вводить свои алгоритмы. Приемник программатуры ГНСС помогает обработать сигнал ГНСС максимально близко к начальному сигналу ГНСС в антенне приемника. В статье характеризуются сенсоры программатуры ГНСС история создания их определение и некоторые из разработок.