भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका
वर्ष 26 अंक 2 दिसम्बर 2018 पृ. 94-105

अंतःस्थापित प्रणाली के कार्यात्मक स्तर का डेटा अधिग्रहण करने के लिए आवश्यकता विनिर्देशों का सूत्रीकरण : चुनौतियां, अनुभव और दिशानिर्देश

अंबालाल विनायक पटेल
एकीकृत उड़ान नियंत्रण प्रणाली (आई. एफ. सी. एस.) निदेशालय
वैमानकीय विकास एजेंसी
(रक्षा मंत्रालय, भारत सरकार), 1718, विमनपुरा पोस्ट, बैंगलोर 560 017

सारांश : प्रौद्योगिकी में प्रगति के साथ, बड़े पैमाने पर आवेदन प्रणाली की कई विशेषताओं को अंतःस्थापित और छोटा/सघन किया जा रहा है। इससे विकसित अंतःस्थापित प्रणाली के परीक्षण और सत्यापन पर महत्वपूर्ण प्रयासों का निवेश हुआ है। प्रणाली के मध्यवर्ती चरणों में अधिग्रहित डेटा/संकेत त्वरित तरीके से विश्लेषण और त्रुटियों को खोजने में सहायता करते हैं। यह आलेख कार्यात्मक एल्गोरिथ्म के डेटा अधिग्रहण की आवश्यकता विनिर्देशों का सूत्रीकरण करने के लिए कुछ दिशानिर्देश प्रस्तुत करता है। इन आवश्यकताओं और दिशा-निर्देशों का उपयोग प्रासंगिक हलुओं को परीक्षण, मूल्यांकन और बाद के विस्तार या सिस्टम के उन्नयन के लिए विकास के दौरान किया जाना आवश्यक है। सुरक्षा महत्वपूर्ण अंतःस्थापित प्रणाली पर लंबे समय से काम करने के दौरान प्राप्त हुए अनुभवों के आधार पर दिशा-निर्देश प्रस्तावित किए हैं। प्रासंगिक अनुभव कुछ उदाहरणों की सहायता से भी साझा किए हैं।

Functional level data acquisition requirement specification formulation for embedded systems: challenges, experiences and guidelines

Ambalal V. Patel
Integrated Flight Control Systems (IFCS) Directorate,
Aeronautical Development Agency
(Ministry of Defence, Govt. of India)
P.B. 1718, Vimanapura Post, Bangalore- 560 017

Abstract

With the advancement in technology, many features of the large scale application systems are being embedded and miniaturized. This has led to investment of significant efforts on testing and verification of the developed embedded system. The data / signals acquired at intermediate stages of the system aids in analysis and debugging in accelerated manner. This article presents some guidelines for formulating the data acquisition / test points requirements of the core functional module (algorithms) and relevant aspects which are required to be considered during the development to cater for testing, evaluation and subsequent expansion or up-gradation of the system. The guidelines are proposed based on the experience gained over a period of time while working on safety critical embedded systems. The relevant experiences are also shared with the help of a few illustrative examples.

प्रस्तावना

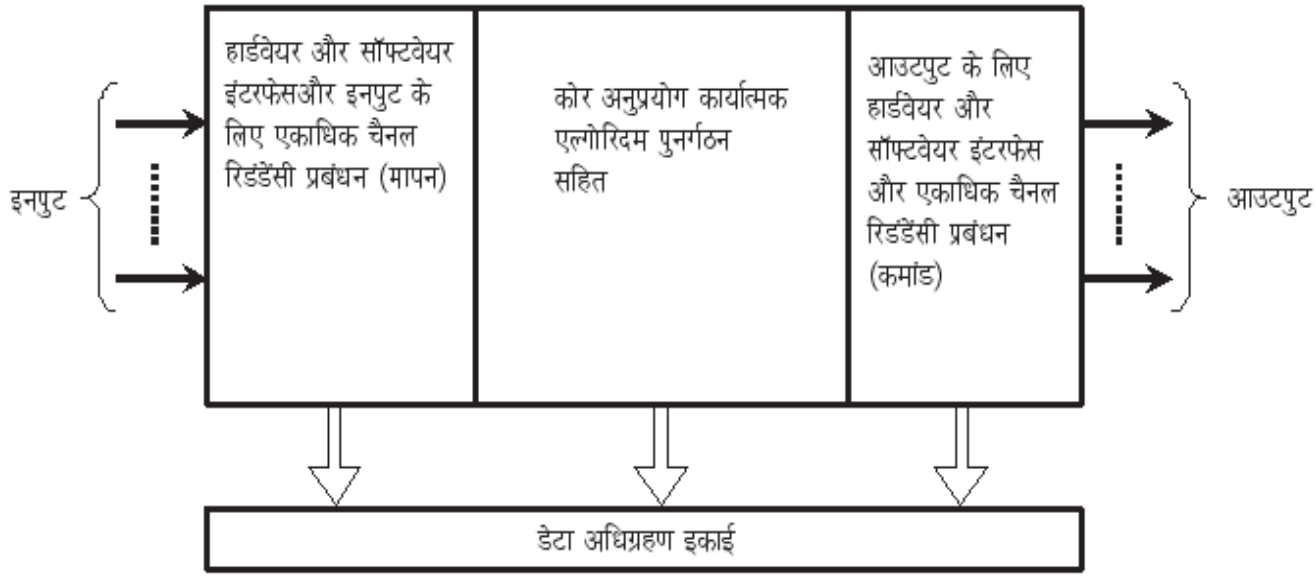
प्रौद्योगिकी में प्रगति के साथ, बड़े पैमाने पर आवेदन प्रणाली की कई विशेषताओं को अंतःस्थापित और छोटा/सघन किया जा रहा है। इससे विकसित अंतःस्थापित प्रणाली के परीक्षण और सत्यापन पर महत्वपूर्ण प्रयासों का निवेश हुआ है। प्रणाली के मध्यवर्ती चरणों में अधिग्रहित डेटा/संकेत त्वरित तरीके से विश्लेषण और त्रुटियों को खोजने में सहायता करते हैं। इलेक्ट्रॉनिक्स हार्डवेयर और सॉफ्टवेयर से जुड़े सुरक्षा महत्वपूर्ण अंतःस्थापित अनुप्रयोगों और अन्य अंतःस्थापित उप-प्रणाली और यांत्रिक प्रणालियों की संगतता परीक्षण और विश्लेषण के लिए महत्वपूर्ण प्रयास

किए जाते हैं। ऐसी प्रणालियों के निम्नलिखित उदाहरण हैं : हवाई जहाज की तार-उड़ान नियंत्रण प्रणाली (फ्लाई-बाय-वायर लाइट कंट्रोल सिस्टम), मिसाइल, अंतरिक्ष वाहन, ऑटोमोबाइल आदि अनुप्रयोगों के लिए इस्तेमाल किये जाने वाली मार्गदर्शन और पथ प्रदर्शन प्रणाली।

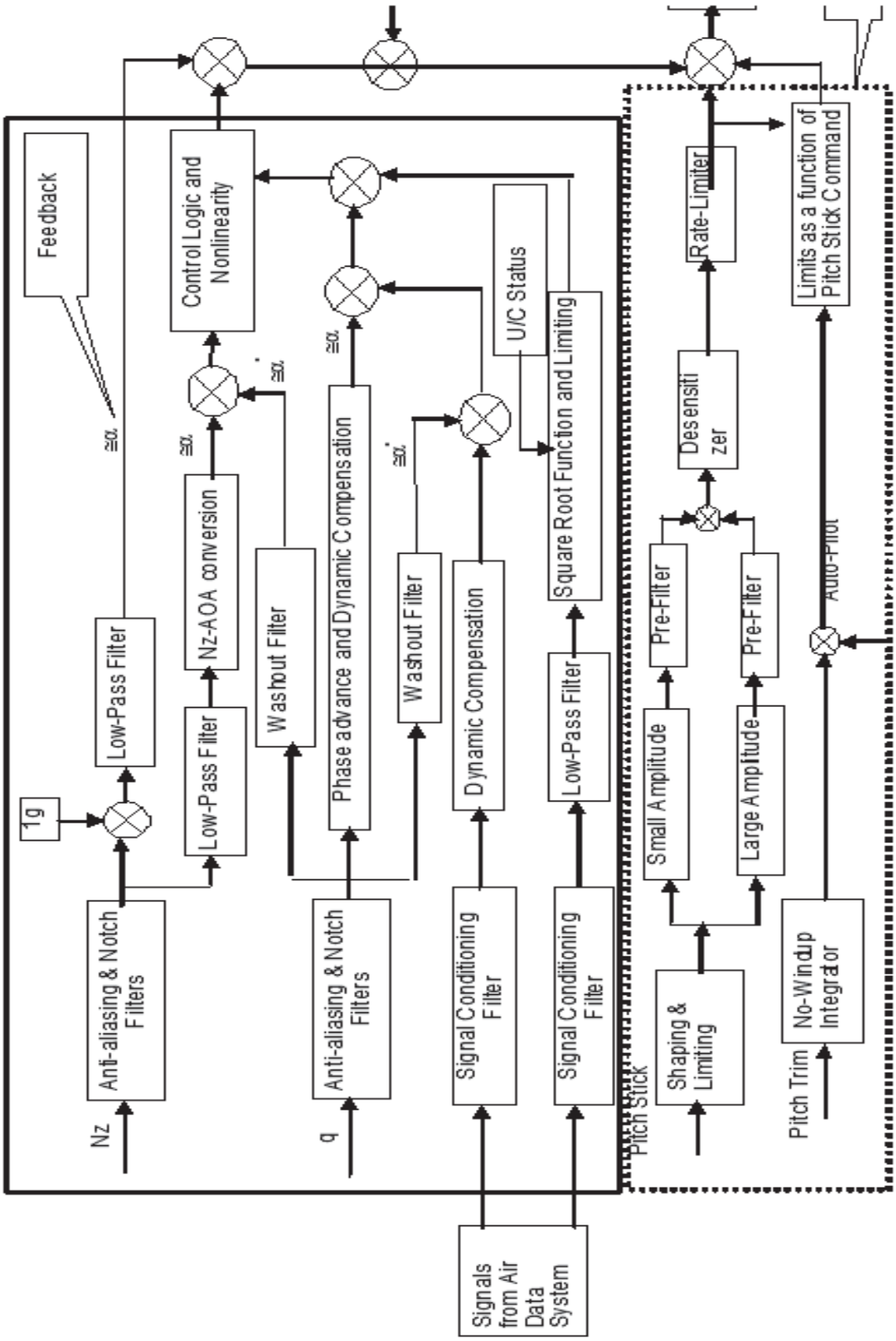
इस तरह की महत्वपूर्ण प्रणालियों के पूर्ण मूल्यांकन के लिए, सभी अंदर जाने वाले (Input), बाहर आने वाले (Output) और मध्यवर्ती क्षेत्रों की स्थिति दर्शाने वाले संकेतों (Intermediate signals) का व्यापक रूप से विश्लेषण करना अनिवार्य होता है। इसीलिए सभी आवश्यक संकेतों को हवाई जहाज की उड़ान के दौरान प्राप्त करना आवश्यक है। इनपुट आमतौर पर सेंसर माप होते हैं जो हवाई जहाज की स्थिति को दर्शाते हैं, जबकि आउटपुट हवाई जहाज की क्रियान्वयन प्रणाली को चलाने के लिए आदेश होते हैं। मध्यवर्ती क्षेत्रों की स्थिति दर्शाने वाले संकेत उड़ान नियंत्रण प्रणाली के नियंत्रण कानून, वायु सम्बंधित मापन (वायु डेटा मापन/एल्गोरिथ्म, ऑटो-पायलट नियंत्रण कानून, हथियार प्रणाली एल्गोरिथ्म इत्यादि जैसे सॉफ्टवेयर रिडंडेंसी प्रबंधन और कम्प्यूटेशनल गहन परिष्कृत अनुप्रयोग एल्गोरिथ्म का हिस्सा हैं (चित्र 2)। आवश्यक प्रयास और दर्शन का पालन किया गया[1-4]। मोटर वाहन दुर्घटना घटनाओं के आधार पर डेटा व दिशानिर्देश प्राप्त किए गए, और उनकी जांच की गई [5,6]। इलेक्ट्रॉनिक कच्चे डेटा के अधिग्रहण और प्रसंस्करण के लिए वैश्विक प्रयोगशाला के अनुसार किया गया[7]। यद्यपि कंप्यूटरीकृत सिस्टम का व्यापक रूप से उपयोग किया जाता है, फिर भी इलेक्ट्रॉनिक कच्चे डेटा के संबंध में ऐसे सिस्टम में जीएलपी सिद्धांतों को लागू करने के तरीके पर मार्गदर्शन की आवश्यकता है[7]। एम्बेडेड सिस्टम के कार्यात्मक मॉड्यूल के लिए आवश्यकता विनिर्देशों के निर्माण के लिए दिशानिर्देशों के सेट को प्रस्तुत करने के लिए अच्छे प्रयास किए गए थे[8]।

यह आलेख कोर केवल कार्यात्मक आवश्यकता मॉड्यूल (एल्गोरिथ्म में परीक्षण संकेत - अनुकूलित सिस्टम विश्लेषण के लिए टैप किए जाने वाले सिग्नल) को शामिल करने के लिए विस्तृत दिशानिर्देश प्रस्तुत करता है। आलेख में प्रासंगिक पहलुओं को मूल्यांकन, परीक्षण और बाद में प्रणाली का विकास या उन्नयन के दौरान ध्यान रखने की आवश्यकताओं के बारे में बताया है। समय-समय पर प्राप्त अनुभव के आधार पर दिशानिर्देश प्रस्तावित किए हैं। प्रासंगिक अनुभव कुछ उदाहरणों की सहायता से भी साझा किए हैं।

लेख निम्नलिखित रूप से प्रस्तुत किया है। परिचय के बाद, अनुभाग 2 सॉफ्टवेयर और हार्डवेयर से जुड़े एम्बेडेड सिस्टम की सामान्य पृष्ठभूमि प्रस्तुत करता है। अनुभाग 3 जहाज पर सवार अंतःस्थापित प्रणाली की आमतौर पर सामने आने वाली विभिन्न बाधाओं को प्रस्तुत करता है। समय-समय पर प्राप्त हुए कुछ अनुभवों को धारा 4 में सहायता उदाहरणों के साथ साझा किया गया है। सॉफ्टवेयर की डेटा/मध्यवर्ती स्थितियों की अधिग्रहण आवश्यकताओं की प्रस्तावना के लिए दिशा निर्देशों को धारा 5



चित्र. 1 — योजनाबद्ध एम्बेडेड सिस्टम और डेटा अधिग्रहण इकाई



चित्र. 2 — योजनाबद्ध स्वचालित उड़ान नियंत्रण प्रणाली: सामान्य नियंत्रण ब्लॉक

में प्रस्तुत किया है। धारा 6 डेटा पर बाद में की जाने वाली प्रक्रिया की चुनौतियों पर अतिरिक्त टिप्पणियां प्रस्तुत करता है। अंत में धारा 7 लेख समाप्त करता है।

अंतः स्थापित प्रणाली (एम्बेडेड प्रणाली)

बड़े पैमाने पर सॉफ्टवेयर के रूप में कार्यरत एल्गोरिथ्म में कई अरेखीय गतिशील तत्व, और पुनर्गठन के लिए गहन तर्क शामिल रहते हैं। पुनर्गठन में प्रणाली की विफलता का पता लगाना, संकेतों का अलगाव तथा चयन के कार्य शामिल होते हैं। तर्क स्वयं कई अन्य अलग-अलग स्थितियों पर निर्भर होते हैं, जो उपयोगकर्ता की मांग के कारण बाहरी हो सकते हैं या सिस्टम विफलता या आंतरिक रूप से सिस्टम द्वारा उत्पन्न किए गए ऑपरेशन के दौरान कुछ मानदंडों को पूरा करने के कारण सिस्टम द्वारा उत्पन्न किया जा सकता है।

अरेखीय अवयव जैसे अरेखीय कार्यों या खोज तालिका स्वयं को यंत्र की वर्तमान स्थिति या सिस्टम में विफलता के आधार पर स्थिर या पुनर्गठित किये जा सकते हैं। गतिशील तत्वों में फेडर्स, फ़िल्टर, निरंतरता काउंटर आदि शामिल होते हैं।

फेडर का उपयोग या कार्य : एक विशिष्ट घटना होने पर जब प्रणाली में पुनर्गठन होता है तब चयनित सिग्नल को एक सिग्नल के वर्तमान मूल्य से दूसरे सिग्नल के वांछित मूल्य पर सरल संक्रमण से निर्दिष्ट समय में पहुंचता है।

फ़िल्टर का उपयोग : वांछित आवृत्ति की सीमा के भीतर सिग्नल को सरल करने के लिए उपयोग किया जाता है।

निरंतरता काउंटर का उपयोग : किसी घटना पर विलुप्त समय की गिनती के लिए उपयोग किया जाता है।

उपर्युक्त तत्वों और उनकी परस्पर निर्भरता से जुड़े बहु-इनपुट बहु-आउटपुट सिस्टम के मूल्यांकन के लिए डेटा का विश्लेषण बहुत जटिल हो जाता है (चित्र 3)। इसके अलावा, इलेक्ट्रॉनिक्स हार्डवेयर के कारण शोर/नाद भी अपेक्षित मूल्य के साथ डेटा के सटीक मिलान पर कुछ अनिश्चितता जोड़ता है। इस तरह की सुरक्षा महत्वपूर्ण प्रणालियों के मूल्यांकन के लिए जमीन पर स्थित परीक्षण मंच के पास उनके अतिरिक्त हार्डवेयर हैं जो विभिन्न अंतर्निहित चरणों में डेटा अधिग्रहण की सुविधा प्रदान करते हैं। ऐसे अतिरिक्त हार्डवेयर जिनमें उनकी निहित विशेषताएं होती हैं उन्हें पूरी तरह से समझने की आवश्यकता होती है। विश्लेषण में, अधिग्रहित डेटा से, लागू प्रणाली की समग्र निकासी पर ऑन-ग्राउंड टेस्ट रिग और ऑनबोर्ड सिस्टम हार्डवेयर विशेषताओं के प्रभावों की पहचान और अंतर करना आवश्यक है।

आद्यरूप विकास के दौरान प्रारंभिक ऑनबोर्ड मूल्यांकन के लिए संपूर्ण एम्बेडेड सिस्टम (हार्डवेयर और सॉफ्टवेयर समेत) को मंजूरी मिलने के बाद, चरणबद्ध तरीके से धीरे-धीरे सभी कार्यात्मक आवश्यकताओं को एम्बेड करने के लिए सॉफ्टवेयर अपग्रेडेशन के लिए पुनरावृत्तियों की अधिक संख्या हो सकती है। इन नई आवश्यकताओं को जमीन पर स्थित परीक्षण मंच पर पूरी तरह से मूल्यांकन करने की आवश्यकता है। जमीन पर स्थित हार्डवेयर-इन-लूप परीक्षण मंच पर किये जाने वाले मूल्यांकन को 'ब्लैक बॉक्स' परीक्षण के रूप में वर्गीकृत किया गया है। 'ब्लैक बॉक्स' परीक्षण में किसी को यह पता नहीं होता कि कार्यात्मक आवश्यकताओं को कैसे लिखा/कोड किया गया है, लेकिन केवल कार्यात्मक आवश्यकताओं के उपलब्ध ज्ञान के आधार पर, परीक्षण करने की आवश्यकता है और इसका मूल्यांकन किया जाना चाहिए।

चित्र 3 — मिमो अरेखीय (MIMO Nonlinear) प्रणाली

इसलिए, जटिल, तर्क गहन एल्गोरिथ्म के उचित मध्यवर्ती केतों को कैप्चर करना, परिणामों की व्याख्या करने, उनके पार सहसंबंध, ऑन-बोर्ड और ऑन-ग्राउंड टेस्ट रिंग हार्डवेयर को समझने के लिए बहुत महत्वपूर्ण है जो अंततः त्वरित तरीके से सॉफ्टवेयर के अमल में सहायता करता है।

इसलिए, सिस्टम डिजाइनर को ऑनबोर्ड हार्डवेयर की बाध ाओं के अलावा परीक्षण मंच और संबंधित विशेषताओं को समझना चाहिए। प्रासंगिक ज्ञान के आधार पर, ऑनबोर्ड में सॉफ्टवेयर के रूप में स्थित एल्गोरिथ्म से आवश्यक परीक्षण संकेत का प्रस्ताव देना चाहिए। परीक्षण संकेतों को मध्यवर्ती स्टेटस भी कहा जाता है, जिन्हें ऑनबोर्ड या जमीन पर परीक्षण के दौरान अधिग्रहित किया जाना चाहिए।

ऑन-बोर्ड सिस्टम की बाधाएं

अंतःस्थापित प्रणाली के उपलब्ध हार्डवेयर के स्थापत्य के साथ, सॉफ्टवेयर कार्यक्षमता में वृद्धि निष्पादन समय पर बाधाओं को जन्म देती है, यानी, एल्गोरिथ्म की विशिष्ट गणना निर्दिष्ट समय सीमा के भीतर पूरी की जानी चाहिए। उच्च प्रदर्शन लड़ाकू विमान की सुरक्षा महत्वपूर्ण फ्लाई-बाय-वायर सिस्टम के मामले में, ये बाधाएं एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं। ऑनबोर्ड सॉफ्टवेयर को वास्तविक कार्यों में जटिल और विशाल गणनाएं करने के साथ कई डेटा रिकॉर्डिंग उपकरणों पर डेटा भेजने की महत्वपूर्ण भूमिका निभानी होती है। उड़ान नियंत्रण प्रणाली के लिए एक उदाहरण के रूप में ऐसे कुछ कार्यों को नीचे बताया गया है।

• सेंसर माप में सुधार और रिडंडेंसी प्रबंधन (विफलता का पता लगाना, सिग्नल का अलगाव और चयन)

• नियंत्रण कमांड का गणन (प्राथमिक नियंत्रण कानून और ऑटोपिलोट), सामान्य और सभी विफलता परिदृश्यों के तहत पुनर्गठन

• अन्य उपप्रणाली के साथ संचार/डेटा हस्तांतरण (उड़ान नियंत्रण प्रणाली और एवियनिक्स, इंजन नियंत्रण, हाइड्रोलिक सिस्टम इत्यादि के बीच)

• एकाधिक चैनलों में डेटा का समकालीकरण और अंतर्निहित समय देरी से अन्य उपप्रणालियों से प्राप्त।

स्वचालित उड़ान नियंत्रण प्रणाली का सामान्य नियंत्रक ढांचा चित्र 2 में दिखाया गया है, जो जटिल और कम्प्यूटेशनल गहन है। इसमें सामान्य (बगैर विफलता) और सभी विफलता मोड के तहत काम करने के लिए कई पुनर्गठन शामिल हैं। डेटा संचरण और प्राप्त करने के लिए एक गणनीय अंशकालिक समय लगता है। यह समय संकेतों की संख्या में वृद्धि के साथ बढ़ता है और सॉफ्टवेयर के समग्र निष्पादन समय को प्रभावित करता है। इसलिए, सॉफ्टवेयर द्वारा किए जाने वाले कार्यों को प्राथमिकता दी जानी चाहिए। डेटा अधिग्रहण पर वास्तविक समय गणना और कमांड निर्माण के सभी कार्यों को प्राथमिकता देना स्पष्ट है। हालांकि, डेटा अधिग्रहण (लॉगिंग) उड़ान के बाद का विश्लेषण, अगली उड़ान की निकासी, और विकास चरण के दौरान उड़ान विस्तार के लिए समान रूप से महत्वपूर्ण है। प्राप्त किए जाने वाले आंकड़ों में नीचे दी गई निहित विशेषताओं और संबंधित तथ्यों के साथ सिग्नल की विभिन्न श्रेणियां शामिल होती हैं।

• **एनालॉग सिग्नल :** वे मूल रूप से प्रणाली का नाद रखते हैं,

• **डिजिटल संकेत :** वे हार्डवेयर (डिजिटल रूपांतरित आउटपुट के लिए एनालॉग) या सॉफ्टवेयर का आउटपुट हैं और कम से कम महत्वपूर्ण बिट (एलएसबी) जितना विचलन होता है। एलएसबी का विचलन नोक या कील के रूप में दिखाई देता है और यह सिग्नल के न्यूनतम बदलाव पर निर्भर करती है।

• **असतत सिग्नल (discrete signal) :** वे ऑपरेशन के दौरान सॉफ्टवेयर के भीतर हार्डवेयर तत्वों का स्वास्थ्य/स्थिति या पुनर्गठन/विफलता का संकेत देते हैं। वे बाइनरी संकेत हैं जो या तो 1 (सही) या 0 (झूठी) दर्शाते हैं।

बीते हुए समय के साथ प्राप्त हुए अनुभव और सबक

रिकॉर्डर में अधिग्रहित उड़ान डेटा का उपयोग विकास चरण (विमान की अगली उड़ान की मंजूरी या परीक्षण के चरण) के साथ-साथ निवारक रख-रखाव के लिए अंतिम संचालन/सेवाओं में और उत्पाद के सुधार के लिए डिजाइन हाउस को सुझाव के लिए किया जाता है। यह किसी भी उत्पाद जीवन-चक्र का एक महत्वपूर्ण हिस्सा है। इसलिए, हार्डवेयर और सॉफ्टवेयर के विकास के लिए, विशेष रूप से कार्यात्मक स्तर या एल्गोरिथ्म के विकास के लिए, मजबूती, विश्वसनीयता, स्थिरता, व्याख्यात्मकता, आदि विशेषताएँ दर्ज डेटा में होना जरूरी है। इन्हीं विशेषताओं के साथ डेटा विश्लेषण करना बहुत जरूरी है और इसे सुरक्षा महत्वपूर्ण उत्पाद विकसित करते समय इसे ध्यान में रखा जाना चाहिए[9]।

यह अनुभाग उच्च प्रदर्शन लड़ाकू विमान की फ्लाई-बाय-वायर उड़ान नियंत्रण प्रणाली की रचना, विकास और मूल्यांकन के

दौरान प्राप्त हुए कुछ अनुभव और सबक प्रस्तुत करता है। निम्नलिखित उदाहरण हवाई जहाज के उड़ान नियंत्रण प्रणाली के ब्लैक बॉक्स परीक्षण (हार्डवेयर- इन-लूप परीक्षण और विश्लेषण) पर आधारित हैं:

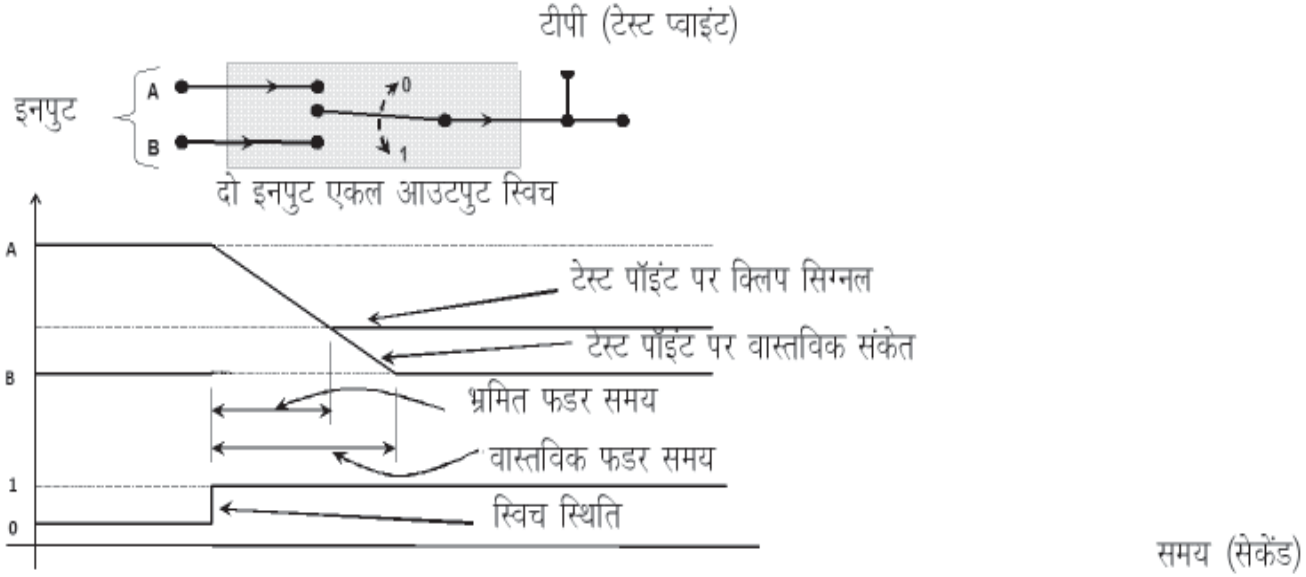
• परीक्षण संकेतों की सीमा तय करने के लिए स्थानीय और वैश्विक न्यूनतम और अधिकतम सीमा की गणना करने के लिए सभी पुनर्गठन के लिए बहु-आयामी अतिविम बनाकर सभी इनपुट के न्यूनतम और अधिकतम मूल्यों के सेट पर विचार करने के लिए प्रयास किए गए थे। यह तकनीक केवल रैखिक सिस्टम के लिए काम कर सकती है। हालांकि, वास्तविक दुनिया के अधिकांश प्रणालियाँ/एल्गोरिथ्म गैर रैखिक होते हैं और इसलिए यह बहु-आयामी अतिविम में इनपुट की न्यूनतम और अधिकतम सीमा पर विचार करके स्थानीय और वैश्विक न्यूनतम और अधिकतमता प्राप्त करने की गारंटी नहीं देता है। दिशानिर्देशों पर धारा 5 इस समस्या का समाधान प्रदान करता है।

• वास्तव में आवश्यकतानुसार प्राप्त होने वाले सिग्नल की सीमा के कारण फेडर कार्यान्वयन पर दिखाई देने वाला भ्रम गलत था। वास्तव समय (रीयल टाइम) से चलने वाले ऑन-बोर्ड सॉफ्टवेयर में, फ़ेडर सही तरीके से काम कर रहे थे, हालांकि, वास्तविक आवश्यक की तुलना में संकुचित सीमा के कारण रिकॉर्ड किए गए सिग्नल के कतरन के कारण, ऐसा लगता है कि फ़ेडर समय ऑन-बोर्ड सॉफ्टवेयर में सही ढंग से लागू नहीं किया गया है। फ़ेडर के बाद वाले परीक्षण संकेतों की गणना सही पाई गयी, जिससे यह अनुमान लगाया गया कि फ़ेडर कार्यक्षमता सही ढंग से लागू की गई है और समस्या दर्ज की गई सिग्नल की सीमा सही ढंग से निर्दिष्ट नहीं की थी (चित्र 4)।

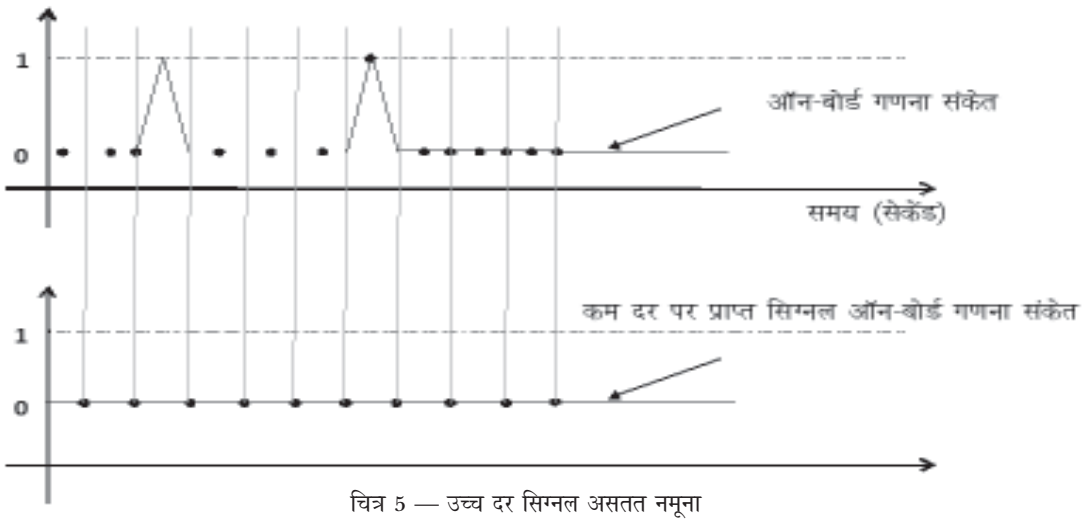
• उच्च दर से प्राप्त किये असतत संकेत डेटा में गायब हो जाते हैं : असतत संकेत की गणना 20 हर्ट्ज पर निष्पादित की गई थी लेकिन वह 10 हर्ट्ज पर दर्ज किए गए थे। सॉफ्टवेयर के अंतिम फ्रेम में एक फ्रेम के लिए एक असतत संकेत की सेटिंग का प्रभाव देखा गया था, लेकिन इसी टॉगल की स्थिति 10 हर्ट्ज पर दर्ज नहीं की गई थी (चित्र 5)।

• सिस्टम में यादृच्छिक शोर संगणना को प्रभावित करता है, उदाहरण के लिए वॉशआउट फ़िल्टर (सिग्नल में स्थित उच्च आवृत्ति को निस्पंदन करने वाला फ़िल्टर) का आदर्श आउटपुट स्थिर स्थिति और शोर की अनुपस्थिति में शून्य हो जाता है। हालांकि, यादृच्छिक शोर यह अनुमान लगाता है कि नतीजे गलत हैं। इसलिए, सफल या असफल मानदंडों और ऐसे परीक्षण संकेत की उपयुक्त सीमा को परिभाषित करने के लिए इस तथ्य के लिए उपयुक्त उपायों की आवश्यकता थी (चित्र 6)।

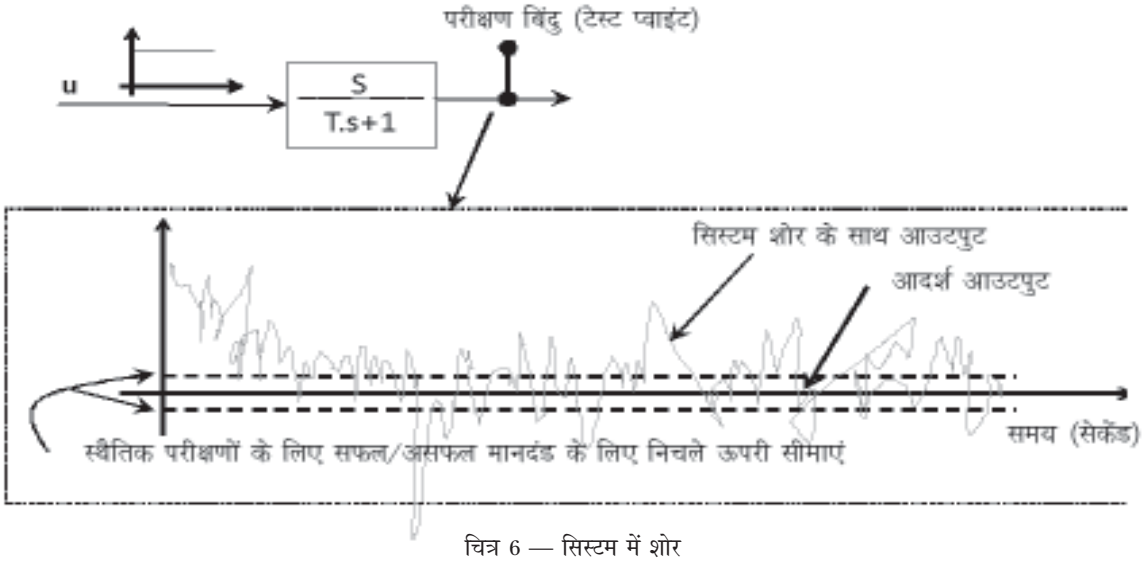
डाटा अधिग्रहण आवश्यकताओं के सूत्रीकरण के लिए दिशा निर्देशन : नीचे दिए गए दिशानिर्देश सामान्य हैं। यह सभी दिशानिर्देश सुरक्षा महत्वपूर्ण फ्लाई-बाय-वायर लाइट कंट्रोल सिस्टम के मूल्यांकन के सम्बंधित अनुभवों पर आधारित हैं। इसीलिए यह



चित्र 4 — क्षणिक मुक्त स्वीच फेडर समय में



चित्र 5 — उच्च दर सिग्नल असतत नमूना



चित्र 6 — सिस्टम में शोर

दिशानिर्देश अधिकांश एम्बेडेड सिस्टम के लिए लागू होते हैं। यह दिशानिर्देश अन्य प्रणालियों से सीखने वाले अनुभवों और पाठों से और अधिक समृद्ध हो सकते हैं।

• अधिग्रहण के लिए संकेतों की संख्या अनुकूलित करें जिसके लिए सभी इनपुट, कार्यात्मक मॉड्यूल के आउटपुट की पहचान करें, जिसमें उनकी वैधता स्थिति शामिल है जो अलग सिग्नल द्वारा इंगित की जाती हैं।

- कार्यात्मक मॉड्यूल के मध्यवर्ती सिग्नल की पहचान करें जिसमें उनकी वैधता स्थिति/असफलता आदि शामिल हैं। निष्पादन समय की बाधाओं और सिस्टम विश्लेषण क्षमता को ध्यान में रखें और तदनुसार परीक्षण सिग्नलस की आवश्यक संख्या बनाए रखें।

• गतिशील तत्वों के बाद संकेतों को अधिमानत : अधिग्रहित किया जा सकता है, क्योंकि ऑफ़लाइन पुनरावर्ती संगणन आमतौर पर बोझिल होता है (चित्र 7)।

• एल्गोरिथ्म के संगणन आरेखों से उद्धरण किए जाने वाले सिग्नल के उपयुक्त स्थान ऐसे खोजें की वह अधिग्रहित डेटा से संपूर्ण अर्थ समझने में आसानी से मदद करें, जैसे :

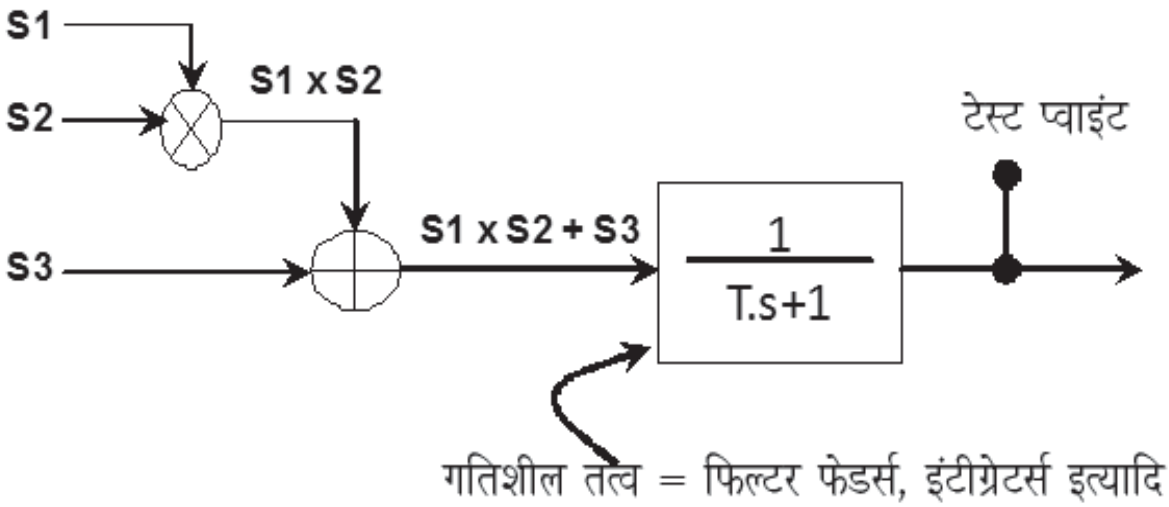
- इष्टतम प्रयासों के साथ, आसन्न क्षेत्रों में संकेतों की गणना की जाती है,

- विन्यास या इनपुट में परिवर्तन के कारण परिणामों को अलग करें।

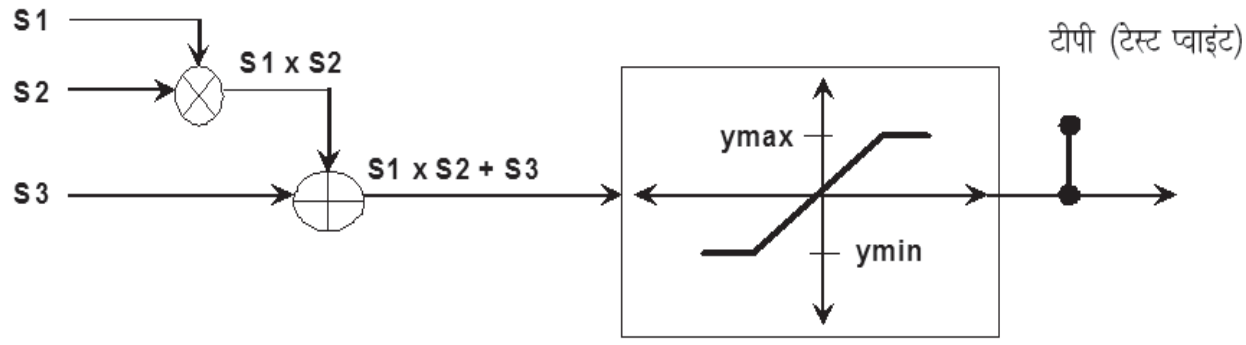
• उपयुक्त न्यूनतम वृद्धिशील बदलाव को बनाए रखते हुए संतृप्ति से बचने के लिए अपने वास्तविक प्रचालन सीमा की तुलना में सभी संकेतों की सीमा को व्यापक रखें। इनपुट और आउटपुट की प्रचालन सीमा निर्धारित करना आसान है क्योंकि वे आमतौर पर सेंसर या आउटपुट हार्डवेयर के चालन सीमा से सीधे सम्बंधित होते हैं। हालांकि, हासिल किए जाने वाले कई मध्यवर्ती संकेतों की सीमा का विचलन निर्धारित करने के लिए निम्नलिखित देखभाल की जानी चाहिए :

- फेडर या बहु-इनपुट एक-आउटपुट स्विच के बाद प्राप्त किए जाने वाले संकेतों को, संतृप्ति से बचने के लिए अतिरिक्त मार्जिन के साथ स्विच में सभी इनपुट संकेतों के बीच संचालन की विस्तृत शृंखला पर विचार करें **(चित्र 9)।**

- **सिग्नल की सीमा की गणना करने के लिए विश्लेषणात्मक तरीकाः** यदि कार्यात्मक तत्वों के रचना में सुसंगति है, तो ऐसे कार्यात्मक तत्वों के उत्पादन की सीमा को उनके इनपुट मूल्य के बावजूद अनुमानतः ज्ञात है। उदाहरण के लिए यदि अरेखीय कृत्य



चित्र 7 — गतिशील तत्वों के बाद अधिग्रहण को प्राथमिकता दें



चित्र 8 — डिजाइन तत्वों के संगीत

के बारे में एल्गोरिथ्म की आवश्यकता ऐसी है कि "अरेखीय कृत्य या खोज तालिका को इनपुट की सीमा के बाहर निकाला नहीं जाएगा और वे सीमाओं के लिए जमे हुए होंगे"। इसलिए, अरेखीय तत्व जिसके आउटपुट की सीमा ज्ञात है, उसके बाद परीक्षण संकेत की सीमा की गणना जल्दी से की जा सकती है और किसी को उस पथ के इनपुट से परीक्षण संकेत तक सभी गणनाओं पर विचार नहीं करना पड़ता है (चित्र 8)।

- नॉनलाइनर तत्व के संचालन को विभाजित करके एक के बदले अनेक परीक्षण संकेत शामिल करके विस्तृत शृंखला और न्यूनतम वृद्धिशील बदलाव के बीच समझौताकारी तालमेल किया जा सकता है। हालांकि, यह कार्यात्मक मॉड्यूल में बदलाव और परीक्षण संकेत की संख्या में वृद्धि की मांग करता है। इसलिए, डेटा अधिग्रहण और एल्गोरिथ्म के निष्पादन के बीच की प्राथमिकता को उचित रूप से हल करना चाहिए।

- गतिशील सीमा दर्शन का अनुकूलन, यानी संतृप्ति और न्यूनतम वृद्धिशील बदलाव के बीच समझौताकारी तालमेल को संतुलित करने के लिए एल्गोरिथ्म के भीतर पुनर्गठन होने पर सिग्नल की अधिग्रहण सीमा को बदलें।

5. अधिग्रहित सिग्नल की इकाइयों में सुसंगति रखें।

6. संकेतों की स्थिति या घटनाओं को एक द्विचर बिट द्वारा दर्शाया जाता है, जिसे द्विचर बिट वाले शब्दों में जोड़ा जा सकता है। निरंतर संकेतों को अर्थपूर्ण रूप से विघटित करके उन्हें द्विचर बिट वाले शब्दों में जोड़ा जा सकता है। इस तरह वे अधिग्रहण के लिए अधिक संख्या में संकेतों को समायोजित करने में सहायता करते हैं।

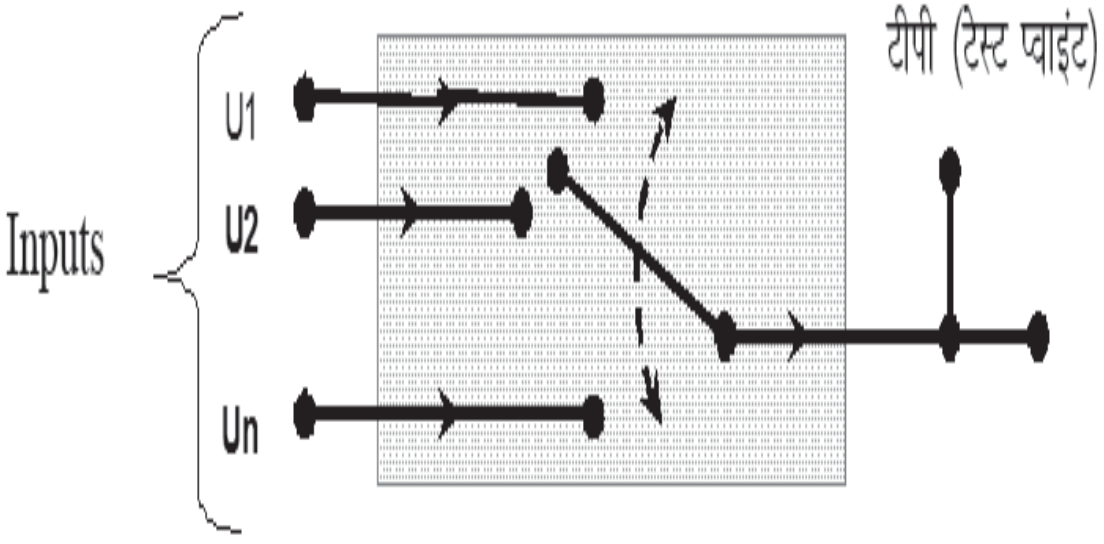
7. अधिग्रहण करने की आवृत्ति अथवा दरः सिग्नल अधिग्रहण की दर को प्राथमिकता दें (संशोधित/चयनित, मध्यवर्ती सिग्नल, सेंसर आउटपुट या नियंत्रण कानून आदेश/संयंत्र इनपुट)

- डिस्क्रेट्स को कम से कम दर पर अधिग्रहण किया जा सकता है क्योंकि अन्य आश्रित संकेतों के आधार पर अधिग्रहण के फ्रेम के बीच उनकी स्थिति का अनुमान लगाया जा सकता है,

- इनपुट और आउटपुट उच्चतम संभव दर पर प्राप्त किए जा सकते हैं, क्योंकि वे ऑफ़लाइन मॉडल के माध्यम से पुनः चलाने के द्वारा अन्य सभी संकेतों को पुनः उत्पन्न करने के लिए उपयोगी होते हैं,

- इंटरमीडिएट सिग्नल उच्चतम और निम्नतम उपलब्ध अधिग्रहण दरों के बीच की दर से प्राप्त किया जा सकता है।

- अधिग्रहण की दर का निर्णय लेने के लिए सिग्नल और उनकी अंतर्निहित विशेषताओं की श्रेणियां जिम्मेदार हैं। जैसे एनालॉग सिग्नल में निहित सिस्टम शोर होता है, डिजिटल सिग्नल का एनालॉग से डिजिटल रूपांतरण और न्यूनतम वृद्धिशील बदलाव



चित्र 9 — मल्टी इनपुट एकल आउटपुट स्विच के आउटपुट पर टेस्ट प्वाइंट के लिए रेंज

की नोंक (एलएसबी स्पाइक्स), अलग सिग्नल/घटनाएं संकेतों में देरी और उनके समय समकालीकरण आवश्यकताएँ।

8. डाटा प्रोसेसिंग करते समय ऑफ़ लाइन गणना प्रक्रिया को दोहराकर प्राचल और टेस्ट पॉइंट्स का बोझ उतार लेना डेटा डिकोडिंग और पोस्ट प्रोसेसिंग करते समय न्यूनतम प्रयासों और समय के साथ ऑफ़लाइन पुनः संकलित किए जा सकने वाले बिंदुओं या संकेतों का सेट खोजें। यह उस विशेष प्रक्रिया के लिए आवश्यक इनपुट सिग्नल का उपयोग कर ऑफबोर्ड कंप्यूटेशंस ऑफ़लाइन दोहराने की मांग करता है। इस प्रकार, किसी को यह सुनिश्चित करना होगा कि कम से कम सभी आवश्यक इनपुट रिकॉर्ड किए गए हों। ऐसा करने का एक बेहतर तरीका है कि रिकॉर्ड किए गए डेटा को कार्यात्मक मॉड्यूल के ऑफ़लाइन सिमुलेशन मॉडल के माध्यम से दोबारा चलाने दें। यह सभी परीक्षण बिंदुओं या संकेतों की गणना करने में मदद करता है। हालांकि, इस प्रक्रिया के साथ सीमा यह है कि डेटा को एकल चैनल प्रतिनिधित्व के लिए गणना की जाती है। यदि ऑनबोर्ड वास्तव समय प्रणाली में कई चैनल हैं, तो चैनल विफलता के बारे में जानकारी को ऑफलाइन कंप्यूटेशंस करते समय भी जिम्मेदार होना आवश्यक है। इस प्रकार, इसे ऑनबोर्ड चैनल विफलता अनावश्यकता के मॉडलिंग की आवश्यकता होती है। इसलिए यह पूरी प्रक्रिया इस ऑफ़लाइन गणना प्रक्रिया के सत्यापन की मांग करती है। इस प्रकार, किसी को आवश्यक संकेतों को रिकॉर्ड करने की अनिवार्यता और उसके परिणाम के परिणामस्वरूप आवश्यक लागत और प्रयासों के लिए जिम्मेदार होना पड़ता है **(चित्र 10)।** जानकारी के लिए चित्र 10 का संदर्भ लें।

9. कई चैनलों में डेटा अधिग्रहण को समझदारी से ऐसे वितरित करें कि चैनल विफलताओं के एक विशिष्ट स्तर के मामले में, किसी को विश्लेषण के लिए आवश्यक संकेतों का पुनर्निर्माण करने में सक्षम होना चाहिए।

10. **जमीन पर स्थित परिक्षण मंच पर :**

- तीव्रता के अनुसार सफल/असफल मानदंड में एलएसबी भिन्नता शामिल है जो वास्तविक सिस्टम स्तर घटक के अंत-से-अंत सहनशीलता के ऊपर और ऊपर अधिग्रहित सिग्नल की बिट्स और सीमा के आधार पर गणना की जाती है,

- फेडर ऑपरेशन और दृढ़ता समय गिनती के सत्यापन के लिए समयबद्ध सफल/असफल मानदंड आवश्यक हैं। यह संबंधित पृथक सिग्नल के आधार पर नीचे दिए गए अनुसार गणना की जाती हैः

समय विचलन (सेकंड) = [निम्न सीमा (सेकंड), ऊपरी सीमा (सेकंड)], जहां

निम्न सीमा (सेकंड) = (अपेक्षित समय (सेकंड) - 2 * सिग्नल का चुनाव/नमूना समय (सेकंड

ऊपरी सीमा (सेकंड) = (अपेक्षित समय (सेकंड) + 2 * सिग्नल का चुनाव/नमूना समय (सेकंड), जहां 2 घटना के प्रारंभ और अंत में नमूने (1 नमूना) की संख्या इंगित करता है।

11. सभी आवश्यकताओं का मॉडलिंग इसे एंड-टू-एंड अपेक्षित मूल्य जनरेशन टूल (ऑफलाइन सिमुलेशन मॉडल सफल/असफल मानदंडों को एम्बेड करने) में एकीकृत करने में मदद करता है। इसका परिणामस्वरूप विचलन सहित सफल-असफल परिभाषित करके प्रणाली के मानदंड और निकासी के लिए उपयोग किया जाता है।

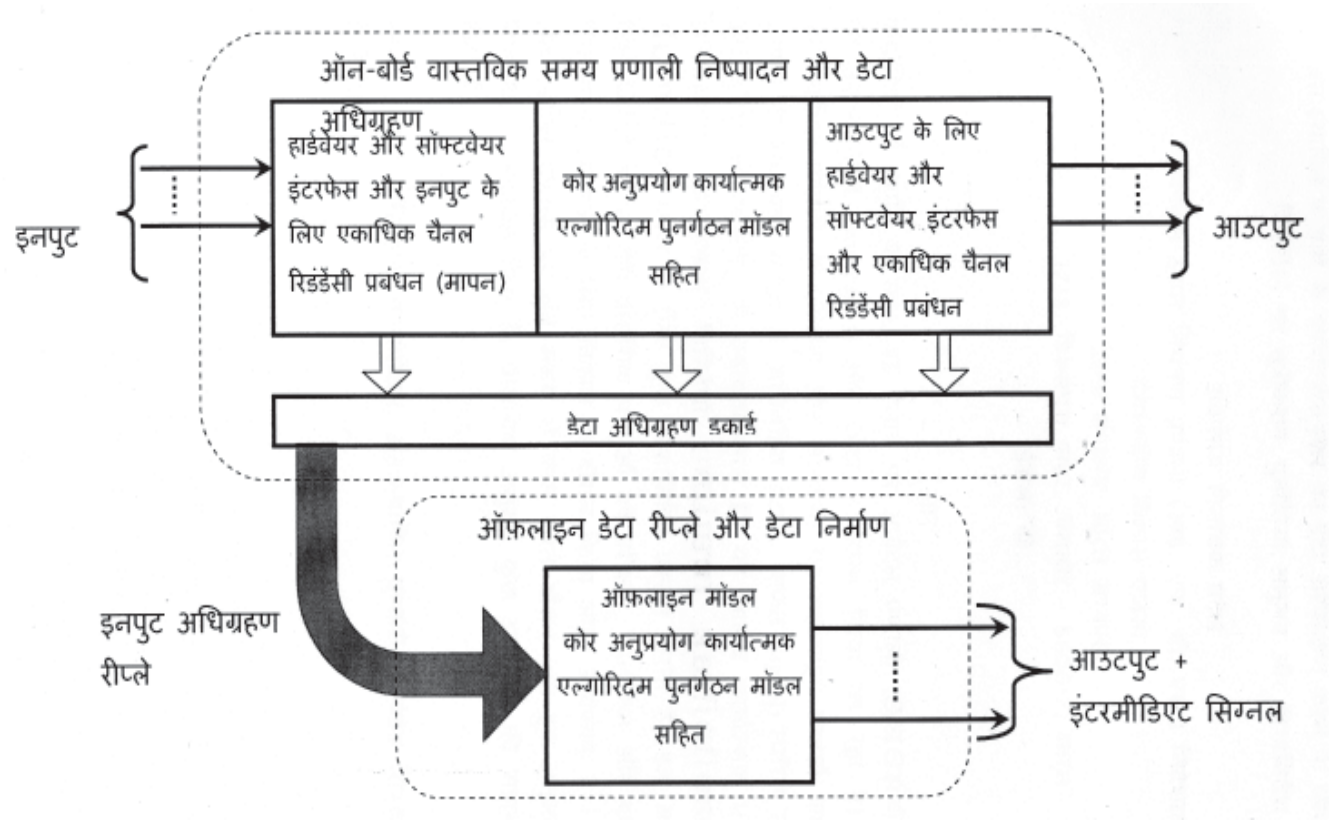
डेटा अधिग्रहण की आवश्यकताओं पर पहुंचने के दौरान सभी उपरोक्त मुद्दों की जांच-सूची रखना अधिमानित होना चाहिए।

डेटा पर बाद में की जाने वाली प्रक्रियाः चुनौतियों और दिशानिर्देश : वास्तविक समय डेटा आमतौर पर सांकेतिक प्रारूप में दर्ज किया जाता है। रिकॉर्ड किए गए डेटा संदेश संरचना के आधार पर ऑफ़लाइन डेटा निष्कर्षण टूल का उपयोग करके डिकोडिंग किया जाता है। डीकोडिंग उपकरण कच्चे डेटा को आवश्यक इंजीनियरिंग इकाई में परिवर्तित करने के लिए आवश्यक पूर्वाग्रह और स्केल कारकों को लागू करता है और प्रारूप में कई गीगाबाइट्स के डेटा को बचाता है। डिकोडिंग टूल अन्य व्युत्पन्न संकेतों की गणना के लिए ऑफ़लाइन प्रक्रियाओं को एम्बेड करता है। डेटा विश्लेषण में निम्नलिखित चीजें शामिल होती है :

1. दृश्य विश्लेषण : इसमें डेटा का समय के साथ इतिहास या क्रॉस प्लॉट के आलेख शामिल होते हैं। दृष्टित विश्लेषण में एनिमेटेड डेटा प्लॉट्स (डेटा क्रॉस प्लॉट्स जो डेटा इतिहास दिखाते हैं, जो रुझानों को समझने में सक्षम बनाता है), और थर्मल प्लॉट्स (सिग्नल में ग्रेडियेंट को इंगित करता है) भी शामिल है।

2. संख्यात्मक/ सांख्यिकीय विश्लेषण : इसमें डेटा के अधिकतम या न्यूनतम, माध्य, औसत, मानक विचलन आदि के आंकड़ों को एक सारणीबद्ध तरीके से शामिल किया जाता है।

किसी भी मामले में, विश्लेषण के लिए बड़े डेटा को संभालने में चुनौतियां शामिल हैं और त्वरित व्याख्या के लिए दृश्य और



चित्र 10 — आफलाइन डेटा रीप्ले और डेटा निर्माण प्रक्रिया

संख्यात्मक/ सांख्यिकीय डेटा विश्लेषण से निपटने के लिए स्वचालित साधनों की आवश्यकता होती है। स्वचालित साधनों में निम्नलिखित शामिल होना चाहिए।

संगणक की मेमोरी की बाधाओं से बचने और मुद्दों को प्रदर्शित करने के लिए आलेखों/ चित्रों की संख्या अनुकूलित करें। चित्र और आलेखों को एक विशिष्ट क्रम में व्यवस्थित किया जाना चाहिए जैसे इनपुट से आउटपुट, कारण और प्रभाव और संबंधित उपप्रणाली के मानकों की परस्पर निर्भरता, आगे और आगे जाने के बजाय परिणामों को जल्दी से अनुमानित करने और निष्कर्ष निकालने के लिए।

कई फाइलों में विभिन्न दरों पर ए एस सी आई प्रारूप में बड़े डेटा का समय-समय पर दर्ज इतिहास इसे मैट्रिक्स रूप में दर्शाता है और इसका विश्लेषण निम्न में से दोनों तरीकों से किया जा सकता है:

- **स्तंभ/पंक्ति संख्या के अनुसार डेटा (मैट्रिक्स प्रारूप) का उपयोग करके विश्लेषणः** डेटा रिकॉर्डिंग संदेश संरचना मॉडल स्वचालित साधनों में एम्बेड करके। प्रत्येक स्तंभ वैरिएबल, रूपांतरण स्केल कारकों आदि की इकाई स्वचालित उपकरण में एक बार आयोजित की जा सकती है और विश्लेषण के लिए उपयोग की जा सकती है। इस तरह के मामले में विश्लेषण करते समय प्रत्येक सिग्नल के स्तंभ/पंक्ति संख्या का आह्वान करना पड़ता है।

- **परिवर्तनीय नाम का उपयोग करके विश्लेषणः** स्तंभ/पंक्ति के अनुसार निकाले गए सिग्नल को एक विशिष्ट चर नाम के साथ नियुक्त किया जाता है। इसके बाद, प्लॉटिंग और विश्लेषण के लिए परिवर्तनीय नाम का उपयोग किया जाता है। हालांकि, परिवर्तनीय नामकरण के लिए अद्वितीय नामकरण पद्धति के साथ परिचितता की आवश्यकता होती है। जैसे, इंजीनियरिंग की इकाइयों के ज्ञान और सिस्टम के बारे में कुछ विशेषज्ञता और प्रासंगिक जानकारी, विश्लेषण करते समय परिवर्तनीय नामों को याद करते हुए।

जब भी ऑनबोर्ड सॉफ्टवेयर की कार्यक्षमता बदलती है और डेटा अधिग्रहण में परिवर्तन की मांग करती है, तो विश्लेषण के लिए उपर्युक्त तकनीकों को पूरा करने के लिए स्वचालित साधनों

को अद्यतन किया जाना चाहिए। यह स्थिति अक्सर उत्पाद विकास चरण के दौरान होती है जहां कार्यक्षमता वृद्धिशील विकास के लिए कार्यक्षमता को बदलती रहती है। हालांकि, अंतिम उत्पाद के संचालन के दौरान, स्वचालित साधनों के अद्यतन और रखरखाव की आवश्यकता नहीं रहती।

3. दस्तावेज़ीकरण : उपकरण (साधनों) को एक विशिष्ट दस्तावेज़ प्रारूप में परिणाम (आंकड़े, सारणी इत्यादि) प्रकाशित करने में सक्षम होना चाहिए जिसमें कम से कम संपादन/टिप्पणी करने के प्रयास, परिणामों को तुरंत अनुवर्ती कार्रवाइयों के लिए जारी किया जाता है।

डेटा विश्लेषण उपकरण के लिए, अद्यतनों और उपयोगिता की आसानी के लिए निम्नलिखित दस्तावेज बनाए रखा जाना चाहिए:

• **उपकरण विकास प्रक्रिया दस्तावेज़ :** डेटा अधिग्रहण आवश्यकता में परिवर्तन के कारण टूल अपडेट आवश्यक है। यह दस्तावेज़ फ़ाइलों और स्थानों/फ़ाइलों को व्यवस्थित ढंग से अद्यतन करने के प्रवाह को तुरंत रीफ्रेश करने में मदद करता है। यह दस्तावेज़ उपकरण विकास में एक नया अनुभव पूरा होने या प्रक्रिया में परिवर्तन होने पर अद्यतन होने पर रखा जाना चाहिए।

• **उपयोगकर्ता पुस्तिका :** जैसा कि नाम से पता चलता है, यह दस्तावेज़ उपयोगकर्ता को आवश्यक उद्देश्य के लिए आसानी से टूल को अनुकूलित करने में मदद करता है। नवीनतम अपडेट को शामिल करने वाले इस अद्यतन दस्तावेज़ को जारी किए जा रहे अद्यतन टूल के साथ उपलब्ध कराया जाना चाहिए।

• डेटा विश्लेषण उपकरण का विन्यास चूंकि स्वचालित उपकरण को विकास चरण के दौरान अक्सर अद्यतन किया जाना आवश्यक है, इसलिए व्यवस्थित विन्यास प्रक्रिया का पालन करना उचित है। रख-रखाव की आसानी को सक्षम करने के लिए स्वचालित उपकरण में प्रक्रिया की प्रत्येक प्रक्रिया या भाग पर टिप्पणी की जानी चाहिए। इस प्रकार, डेटा निष्कर्षण उपकरण, ऑफलाइन डेटा प्रोसेसिंग टूल्स ऑनबोर्ड एप्लिकेशन सॉफ्टवेयर के बराबर माना जाना चाहिए।

निष्कर्ष

इस लेख में एम्बेडेड सिस्टम के कोर कार्यात्मक मॉड्यूल के विश्लेषण के लिए डेटा प्राप्त करने के लिए आवश्यकताओं को तैयार करने के लिए एक व्यवस्थित दृष्टिकोण प्रदान करने के लिए प्रयास किया गया है। उन आवश्यकताओं को तैयार करने के लिए दिशानिर्देश सुरक्षा महत्वपूर्ण फ्लाई-बाय-वायर लाइट कंट्रोल सिस्टम के मूल्यांकन के साथ काम करते हुए अनुभव के आधार पर पहुंचे हैं। डेटा अधिग्रहण की आवश्यकताओं पर पहुंचने के दौरान इस लेख में उल्लिखित अंकों को शामिल करने वाली एक जांच-सूची तैयार की जा सकती है। ये दिशानिर्देश अधिकांश एम्बेडेड सिस्टम के लिए लागू होने की उम्मीद है और अन्य प्रणालियों से सीखने वाले अनुभवों और पाठों से समृद्ध हो सकते हैं।

अभिस्वीकृति

लेखक इस काम को प्रकाशित करने की अनुमति के लिए वैमानकीय विकास एजेंसी (ए.डी.ए.), बैंगलोर, भारत का आभारी है।

संदर्भ

1. Patel Ambalal V, Patel Vijay V, Deodhare Girish S & Chetty Shyam, "Clearance of Flight-Control-System Software with Hard ware-in-Loop Test Platform", *AIAA Journal of Aircraft*, **51**, 3, May-June 2014, DOI 10.2514/1.C032404.
2. Patel Ambalal V, Patel Vijay V, Deodhare Girish & Chetty Shyam, "Flight Control System cleareance using dynamic tests at Hardware-In-Loop Test Platform", Proceedings of International Conference on Avionics Systems (ICAS) 2008, held at RCI, Hyderabad, during February 22-23, 2008.
3. Guruganesh R, Chetty Shyam, Ambalal V Patel & Deodhare Girish, "Clearance of LCA Flight Control Laws on Various Ground Test Simulation Platforms", *Proceedings of International Conference on Avionics Systems* (ICAS) 2008, held at RCI, Hyderabad, during February 22-23, 2008.
4. Ambalal V. Patel, V. Patel Vijay, Deodhare Girish & Chetty Shyam, "Flight Control System cleareance using static tests at Iron Bird", Proceedings AIAA Guidance, Navigation and Control (GNC) conference and exhibit, paper No. 6203 in session No. 31-GNC-14, held at Keystone, Colorado, USA during August 21-24, 2006.
5. Incident Response - Data Acquisition Guidelines for Investigation Purposes1, CERT-EU Security White Paper 2012-04, Version 1.4 - May 2015.
6. Thomas C. Mercer, Keith S. Schultz, Recording Automotive Crash Event Data, International Symposium on Transportation Recorders, May 3 - 5, 1999 Arlington, Virginia.
7. Guidelines for the Acquisition and Processing of Electronic Raw Data in a GLP Environment, Working Group on Information Technology (AGIT), Release Date: 1 December 2005, Version:01.
8. Patel Ambalal V, "Formulation of Functional Level Data Acquisition Requirement Specification for Embedded Systems: Challenges, Experiences and Guidelines", UPIN: G1-073, e-proceedings, National Conference on Large Scale Multi-Disciplinary Systems of National Significance (LAMSYS-2016) held at Satish Dhawan Space Centre SHAR, Sriharikota, India during June 24-25, 2016.
9. Li Cai and Yangyong Zhu, "The Challenges of Data Quality and Data Quality Assessment in the Big Data Era", *Data Science Journal*, 14: 2, 1-10, DOI: http://dx.doi.org/10.5334/dsj-2015-002.