



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

I. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2015eko maiatzaren 13, 14 eta 15
Durango, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Sistema Ziber-Fisiko Aldakorrak:
Analisia, Kudeaketa eta
Simulazioa**

*A. Arrieta, G. Sagardui
eta L. Etxeberria*

646-654 or.
<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.i.89>

ANTOLATZAILEA:



udako
euskal unibertsitatea

BABESLEAK:



EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO



Bizkaiko Foru Aldundia
Diputación Foral de Bizkaia

eman ta zabal zaku



UPV EHU

LAGUNTZAILEAK:



Universidad de Deusto
Deustuko Unibertsitatea



MONDRAGON
UNIBERTSITATEA



UDALBILTZA



Universidad
Pública de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

Sistema Ziber-Fisiko Aldakorrak: Analisia, Kudeaketa eta Simulazioa

Arrieta A. eta Sagardui G. eta Etxeberria L.¹

Mondragon Goi Eskola Politeknikoa, Goiru 2, 20500, Arrasate

Laburpena

Sistema Ziber-Fisikoek sistema ziber digitalak sistema fisiko konplexuekin uztartzen ditu. Sistema hauek gure egunerokotasunean garrantzi handia hartzen ari dira, eta ondorioz, haien aldakortasuna handitzen ari da erabiltzaileen hainbat behar betetzeko. Ondorioz, haien konplexutasuna exponentzialki handitu daiteke, eta egiaztapena prozesuak denbora handia hartu dezakete. Artikulu honek sistema ziber-fisiko batek eduki ditzakeen aldakortasuna analizatzen du, ezaugarri modeloetan oinarritutako kudeatze estrategia bat deskribatzen du eta simulazio estrategia berri bat proposatzen du.

Hitz gakoak: Sistema Ziber-Fisikoak, Aldakortasuna

Abstract

Cyber-Physical Systems integrate digital cyber technologies with complex physical systems. These systems are taking importance in our daily lives and their variability is considerably increasing to give response to different users' needs. As a consequence, their complexity can exponentially grow, and the verification stages of these systems can become time consuming. This paper analyses the variability that cyber-physical systems can be exposed to, describes a management strategy based on feature models and proposes a simulation strategy.

Keywords: Cyber-Physical Systems, Variability

1 Sarrera

Sistema ziber-fisikoak, teknologia digitala eta prozesu fisikoak uztartzen dituzten sistemak dira (Derler *et al.*, 2011). Sistema hauek gure eguneroko bizitzan ezinbestekoak dira, eta edozein tokietan aurki ditzakegu: kotxeen hainbat funtzioetan, igogailuetan, hegazkinetan, eta abar. Erabiltzaileen hainbat arazoei aurre egiteko, sistema ziber-fisikoak sistema aldakor bihurtzen ari dira. Sistema ziber-fisiko aldakorrak milaka edota milioika konfigurazio jasan ditzakete. Ondorioz, sistema hauen aldakortasuna handia da, eta aldakortasun hau kudeatzea garrantzitsua da.

Aldakortasuna sistema bat aldatzeko edo pertsonalizatzeko daukan gaitasuna da (Gurp *et al.*, 2001), eta konfigurabilitate edo modifikabilitate bezala uler daiteke (Thiel eta Hein, 2002). Konfigurabilitatea produktu espazioko aldakortasunari dagokio, modifikabilitatea aldiz denbora espazioko aldakortasunari. Artikulu honetan zehar aldakortasunaz mintzatzen garenean, lehenengoari buruz arituko gara, hau da, konfigurabilitatea.

Sistema ziber-fisiko aldakorrek zenbait konfigurazio jasan ahal izateko haien konplexutasuna handitu egiten da. Ondorioz, egiaztatze eta balioztatze prozesuek esfortzu handiago bat eskatzen dute. Prozesu hauetan, simulazio tresnak beharrezkoak dira, konfigurazio ezberdinak garatzea kostu handia dakarrelako, bai diru eta bai denbora aldetik. Bestalde, simulazio tresnek sistema ziberfisikoen aldakortasuna jasan beharra daukate, baina gehienak ez daude horretarako eginak. Ikerketa honek sistema ziber-fisiko konfiguragarrien aldakortasuna era eraginkor batean analizatzea, kudeatzea eta simulatzea dauka helburu.

2 Arloko egoera

Sistema ziber-fisikoak gure eguneroko bizitzan eginkizun garrantzitsu bat daukate. Sistema hauek teknologia digitalak eta prozesu fisikoak uztartzen dituzten sistema konplexuak dira (Derler *et al.*, 2011).

Sistema ziber-fisikoak geroz eta aldaketa gehiago jasan ditzazkete, eta ondorioz, haien aldakortasuna handitu egiten da. Aldakortasun hau kontutan edukitzea oso garrantzitsua da: alde batetik, sistema hauen aldakortasuna era batean kudeatu beharra dago. Bestalde, aldakortasun hau sistema ziber-fisiko simulatu behar duen erremintan modelatzea beharrezkoa da. Are eta gehiago, trazabilitatea egon beharra dago aldakortasuna kudeatzen duen erreminta eta sistema simulatzen duen erremintaren artean.

Gaur egun, sistema konplexuak simulatzeko erabiltzen diren tresnen artean MATLAB/Simulink erreminta da erabilienetako bat. Hala ere, erreminta hau ez dago pentsatua aldakortasuna era eraginkor batean modelatzeko. Gure aurreko lanean (Arrieta *et al.*, 2014a), MATLAB/Simulink-en sistema txer-tatuentzako software-aren aldakortasuna modelatu eta kudeatzeko hiru teknika konparatu genituen: (1) aldakortasun uniforme, (2) aldakortasun negatiboa eta (3) lehen klaseko aldakortasuna. Konparazio honetan ondorengo ezaugarriak hartu ziren kontutan:

- Simulazio denbora: Simulatzeko behar duen denbora. Hau altua edo baxua izan daiteke erabilitako teknikaren arabera.
- Modeloaren konplexutasuna: Erabilitako teknikaren arabera, modeloaren konplexutasuna alda daiteke. Konplexutasuna 100 %-koa izango da baldin eta modeloan soilik konfigurazio konkretu baten erabiltzen diren osagaiak agertzen badira. Bestalde, konplexutasuna 150 %-koa izango da baldin eta modeloan sistema ziber-fisiko aldakor osoaren osagaiak agertzen badira.
- Kudeatzeko erabiltzen den erreminta: Simulazio erremintaz aparte, aldakortasuna kudeatzeko erreminta erabiltzea aproposa da.
- Konfiguratzeko konplexutasuna: Sistema ziber-fisiko aldakorrak hainbat konfigurazio jasan ditzakete. Konfigurazio konkretu bat simulatzeko, teknika bakoitzak pausu ezberdinak jarraitu behar ditu. Ezaugarri honek teknika bakoitza Simulink erremintan sistema ziber-fisiko aldakor baten konfigurazio konkretu bat konfiguratzeko konplexutasuna neurtzen du, teknika bakoitzeko.
- Konfiguratzeko maila: Erabilitako teknikaren arabera, produktu konfigurazio guztiak modelatu ahal izango da, edo konfigurazio konkretu batzuk soilik. Produktu lerro osoa modelatzea abantaila garrantzitsua da edozein produktu konfigurazio independente simula daitekeelako.
- Konfiguratzeko unea: Konfiguratzeko unea aldakortasuna ebazten den uneari dagokio, hau da, zein momentutan konfiguratu den (Weiland eta Manhart, 2014). Konfiguratzeko denborak inpaktu zuzena dauka bai simulazio denboran, baita automatikoki sortutako kodean. Aldakortasuna ebatz daiteke (1) kodea sortzean, (2) kodea aurre-kompilatzean edo (3) "run-time" delakoan.
- Modifikatzeko erraztasuna: modifikatzeko erraztasuna (edo modifikabilitatea), modelo batean aldaketa bat egiteko erraztasunari dagokio. Sistema aldakorrak osagai edo funtzionalitate berriak behar izan ditzakete. Honengatik, ezaugarri hau kontutan edukitzea garrantzitsua da teknika bat edo beste aukeratzeko orduan.

1 Taula: Aldakortasuna MATLAB/Simulink erremintan modelatzeko eta kudeatzeko hiru teknikaren konparazioa Arrieta *et al.* (2014a)

Modelatze Teknika	Simulatze denbora	Modeloaren konplexutasuna	Kudeatze erreminta	Konfiguratzeko konplexutasuna	Konfiguratzeko maila	Konfiguratzeko unea	Modifikatzeko erraztasuna
Aldakortasun uniforme	Altua	150 % modelo	pure::variants	Baxua	Famili produktu osoa	Runtime	Baxua
Aldakortasun negatiboa	Baxua	150 % modelo	S2T2 Config	Altua	Famili produktu osoa	Kodea sortzean	Baxua
Lehen klaseko aldakortasuna	Baxua	100 % modelo	Espezifikatugabe	Espezifikatugabe	Konfigurazio independenteak	Kodea sortzean	Ertaina

3 Ikerketaren Muina

3.1 Ikerketa Kasua: Drone aldakorra - Aldakortasunaren Analisia

Ikerketa kasu bezala Drone delako sistema aukeratu dugu. Drone-ak, gidatu gabeko aireko ibilgailuak dira. Drone bat, sistema ziber-fisiko bat da, non sistema digitalak prozesu fisikoekin uztartzen dituen. Sistema hauek hainbat funtzio eduki ditzakete, adibidez, militarrek arerioak espiatzeko, erreskate misioetan biktimak era eraginkor batean lokalizatzeko, eta azken urteotan, jostailu modura erabiltzen ari dira. Proposatutako kasu honetan, sistemaren aplikazioak hiru izango dira:

- Argazkilaritza: Drone-a altura ezberdinetatik era azkar batean argazkiak ateratzeko erabiliko da. Aplikazio honetan, sistema kamara batekin ekipatua egotea beharrezkoa izango da.
- Zama Lanak: Kasu honetan, sistema zama alde batetik bestera garraiatzeko erabiliko da. Aplikazio honetarako potentzi maila altua daukaten motorrak erabiltzea funtsezkoa izango da.
- Jolasa: Haurrei edota afizionatuentzat zuzenduta aisialdirako.

Bestalde, drone-a bi modutan kontrola daiteke, manuaiki edo automatikoki. Kontrol manuala, kontrol tradizionalari dagokio, hau da, irrati frekuentzia bidez erabiltzaileak drone-ari aginduak bidaltzen dizkio. Kontrol manuala erabiltzen bada, drone konfiguragarriak irrati frekuentziak detektatzen dituen sentsorea eduki beharko du. Bestalde, kontrol automatikoa GPS bidez kontrolatzen da; erabiltzaileak koordinatuen datuak bidaltzen dizkio drone-ari eta aireko ibilgailua automatikoki erabiltzaileak finkatutako puntura mugituko da. Kontrol automatikoa edukitzeko, drone-ak GPS sentsorea eduki beharko du integratuta.

Sistema hauen desabantailetako bat potentzi kontsumoa da. Hegaldia eraginkorra izateko, drone-ak ezin dute pisu handiak jasan, beraz ezin dituzte batera pisutsuak izan. Honengatik, drone-aldakorrak bi motore mota ezberdin eduki ditzakete: 10 wattioko potentzia xahutzen dutenak edo 20 wattiokoak. Lehen aipatu bezala, 20 wattioko motoreak zama lanak egiteko erabiltzen diren dronetan erabiliko dira, besteak beste.

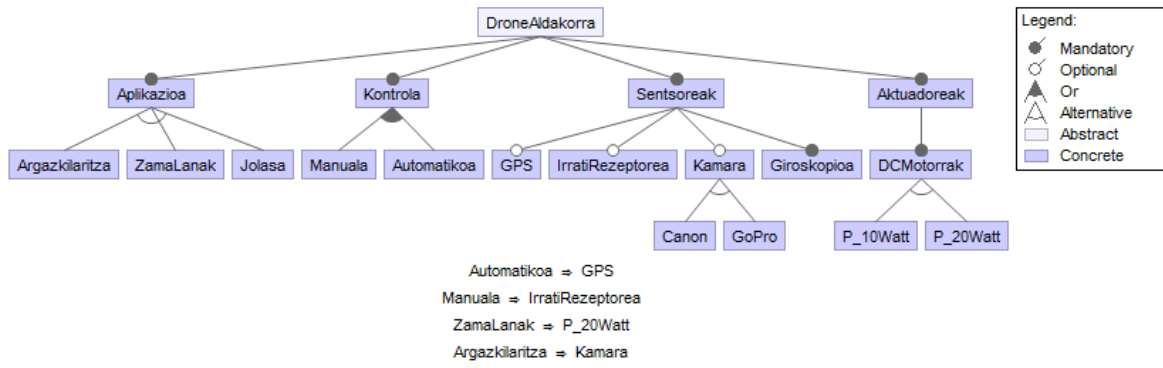
Azkenik, argazkiak ateratzeko bi kamara mota erabili ditzake dronak, bi marka famatuena: Canon edo GoPro. Aukera hau erabiltzailearen baitan egongo da, aplikazio mota edo aurrekontua kontutan edukita.

3.2 Aldakortasuna Kudeatzen

Aurreko sekzioan aldakortasunaren analisia egin dugu. Hala ere, aldakortasuna era eraginkor batean kudeatzea beharrezkoa da, bereziki aldakortasun handia duten sistemetan. Berger *et al.* (2013) artikulua industriari aldakortasuna modelatzeko erabiltzen diren teknikak aztertzen ditu. Aldakortasuna kudeatzeko notazio ezberdinak erabiltzen direla aipatzen du, besteak beste Feature Model-ak (Ezaugarri Modeloak), Domeinu Espezifikoetako Lengoaiak edota UML diagramak. Ikerketa honi dagokionez, gehien erabiltzen den notazioa Feature Model delakoa da.

Sistema ziber-fisikoetan aldakortasuna kudeatzeko aukeratu dugun notazioa, Feature Model-ak izan dira. Ezaugarri modeloak, sistema aldakor baten produktu guztiak errepresentatzen dituen modelo grafikoak dira, non hierarkikoki sistema baten ezaugarri guztiak errepresentatzen diren (Benavides *et al.*, 2010). Erreminta moduan, FeatureIDE (Thuem *et al.*, 2014) erabili da ondorengo arrazoiengatik: (1) eclipse plataformarako eskuragarri dago, (2) ematen dituen aukerak handiak dira, (3) erabiltzeko erraztasuna, (4) kode irekikoa, hau da, gure beharretara moldatu dezakegu.

1 Irudiak proposatutako sistemaren ezaugarri modelo erakusten du. Hainbat ezaugarri mota daude: ezaugarri bat beharrezkoa (mandatory) izango da baldin eta zirkulu beltza duen. Bestalde, hautazkoa izango da zirkulu zuria baldin badauka. Talde ezaugarriak ere badaude eta talde bakoitzean aukera bat edo gehiago aukeratu daitezke, "edo"(or) eta "alternatibo"(alternative) ezaugarri motak dira. "Or"-en kasuan, bat baina gehiago aukeratu daitezke, bestalde, "alternative"-en kasuan, bat besterik ez. Bestalde, ezaugarrien artean murrizketak egon daitezke. Ezaugarri modeloaren azpiko zatian ikusi daitezke murrizketak, kasu honetan adibidez, kontrol automatikoa baldin badago, GPS-a beharrezkoa izango dela.

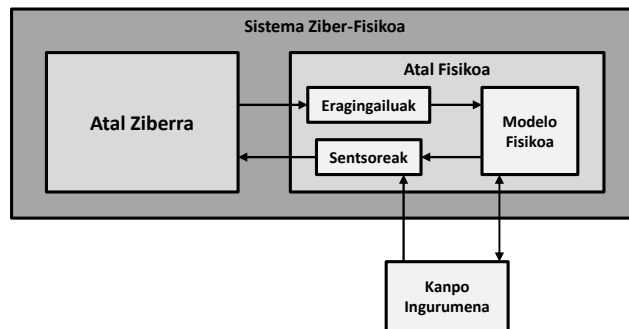


1 Irudia: Proposatutako Drone Aldakorraren Ezaugarri Modeloa

3.3 Sistema Ziber-Fisikoaren Egitura

Sistema ziber-fisiko bat simulatzerako orduan, bere goi mailako egitura ondo ulertzea beharrezkoa da. Sistema ziber-fisiko batek bi atal nagusi dauzka: atal fisikoa eta atal ziberra, 2. Irudian ikusi daitekeen moduan. Ziber atala, sistema digitalak integratzen dituen atala da. Bertan, sistema fisikoa kontrolatzen duen mikroprozesadore edo bestelako sistema txertatuak aurkitu daitezke. Atal honetan, SW-ak rol garrantzitsu bat dauka sistema fisikoaren kontrolean. Atal fisikoari dagokionez, normalean erabiltzaileak ikusi dezaken atalari dagokio; atal honetan hiru zati garrantzitsu bereiz daitezke: (1) modelo fisikoa, erabilitako kasuan, drone-aren egitura generala izango litzateke, (2) sentsoreak modelo fisikotik edota kanpotik datozen neurriak hartzen dituzten gailuak dira, eta azkenik, (3) eragingailuak, non, modelo fisikoaren egoera aldatzeko gai diren gailuak dira.

Bestalde, sistema ziber-fisikoak ingurumen batean egiten dute lan. Ingurumen honek atal fisikoarengan eragin zuzena dauka. Esaterako, aukeratutako ikerketa kasuan, drone-ak haize boladak jasan ditzake. Haize bolada hauek sistema desorekatu dezake eta ondorioz matxuratu. Bestalde, sistema ziber-fisikoak, kanpoko ingurumenaren informazioa jasan dezake sentsoreei esker, ikerketa kasuan adibidez, kamara. Ingurumen hau askotan ez da kontutan edukitzen, baina garrantzitsua da simulatzea bere portaera ikusi ahal izateko.

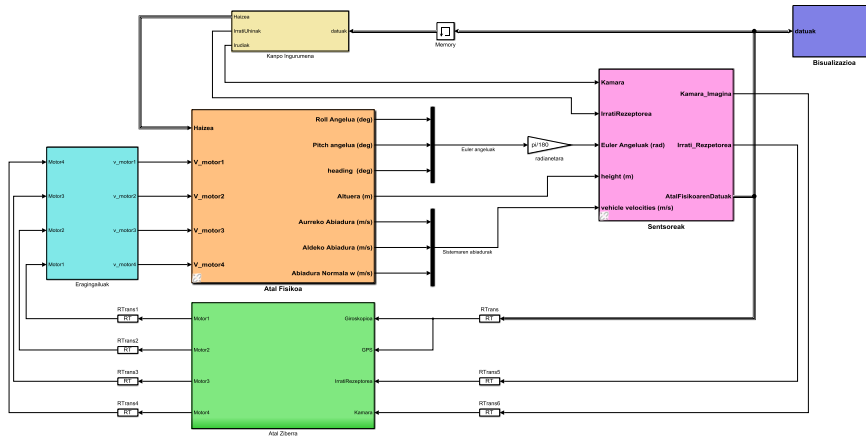


2 Irudia: Sistema ziber-fisiko baten goi mailako egitura

3.4 Sistema Ziber-Fisiko aldakorren Simulazioa

3.4.1 Goi mailako simulazioa

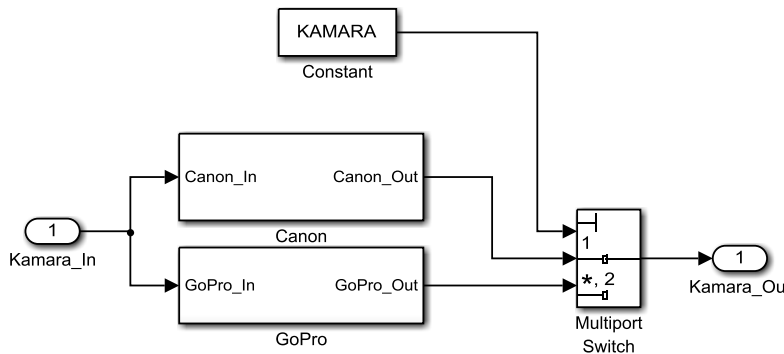
Sistema Ziber-fisiko baten egiturako atal bakoitza, aukeratutako simulazio erremintan modelatu beharra dago. Gure kasuan MATLAB/Simulink erreminta aukeratu dugu softwarea eta atal fisikoa modelatzen dituzten modelo matematikoak bateratzeko eskaintzen duen erraztasunagatik. 3. Irudiak, ikerketa kasurako erabili dugun adibidearen Simulink modeloaren egitura nagusia erakusten du.



3 Irudia: Drone Sistemaren MATLAB/Simulink Modeloa

3.4.2 Aldakortasunaren Modelatzea

Arloko egoeran, 2. Taulan MATLAB/Simulinken aldakortasuna modelatzeko hiru teknika konparatzen dira. Hala ere, konparatutako hiru tekniketako desabantaila ezberdinak dituzte. Esaterako, aldakortasun uniformearen teknika erabiltzean (4. Irudia), ezaugarri guztiak Simulink erremintan alokatu behar dira. 4. Irudia kontuan izanda, bi kamerak alokatzen dira modeloan, Canon eta GoPro. Honek bi desabantaila nagusi dauzka: (1) simulazio denbora altuago da, bi modeloak simulatu beharra dago eta, eta (2) sentore gehiago baldin balego, modeloaren konplexutasuna handiagotuko litzateke.

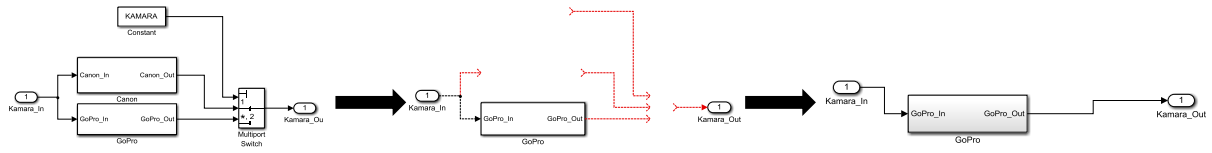


4 Irudia: Kamara sentorearen aldakortasunaren modelatzea aldakortasun uniformearekin erabiliz

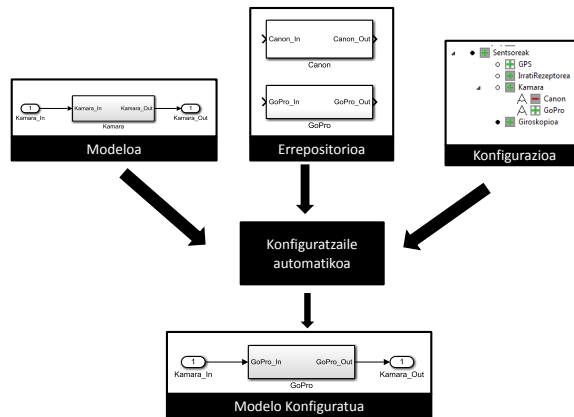
Simulazio denboraren arazoa aldakortasun negatiboarekin konpon daiteke. Teknika honetan, produktu bat konfiguratzeko, erabiltzen ez diren osagaiak modelotik ezabatzen dira. Hala ere, prozesu hau ez dago automatizatuta, beraz, konfiguratzeko prozesua zaildu egiten da. Hartu dezagun adibide bezala GoPro kamara aukeratzeko dugula gure produktuan. Ondorengo pausuak egin behar dira: (1) Canon kamara sentorea ezabatu, (2) zintzilik geratzen diren seinaleak ezabatu eta (3) lotu beharreko seinaleak lotu. Guk dakigunez, prozesu hau ez dago automatizatuta.

Arazo hauei aurre egiteko, gure aldakortasunaren modelatze estrategia ezberdina da. Osagai ezberdinak modelo batean alokatu ordez, errepositorio batean gordetzen ditugu. Goi mailako osagaiak modeloan alokatzen dugun osagaien ordez, hau da, kasu honetan "Kamara". Konfiguratzeko orduan, goi mailako osagaiak, aukeratuak osagaiarengatik ordezkatzen ditugu. Prozesu hau, MATLAB kodea erabiliz automatizatu da. 6. Irudian prozesuaren pauso ezberdinak agertzen dira.

Teknika hau erabiliz, modeloaren konplexutasuna baxua da, osagai guztiak ez baitaude modeloan alokatuak. Bestalde, simulazio denbora aldakortasun uniformearekin baina baxuagoa da, konfigurazio batean erabiltzen diren osagaiak besterik ez baitaude alokatuak Simulink modeloan. Konfiguratzeko proze-



5 Irudia: Kamara sensorearen konfiguraztea aldakortasun negatiboa erabiliz



6 Irudia: Kamara sensorearen konfiguraztea proposatutako aldakortasun teknika erabiliz

sua erraza eta automatikoa da, gainera produktu familia osoa modelatzea ahalbideratzen du. Bestalde, modifikatze orduan, osagai berri bat gehitu nahi bada, esaterako, beste kamara modelo bat, errepositorioan sartzearekin nahikoa izango litzateke, beraz, modifikatzeko erraztasuna altua da.

3.5 Simulazioaren Emaitzak

Simulazioan ondorengo konfigurazioa aukeratu dugu:

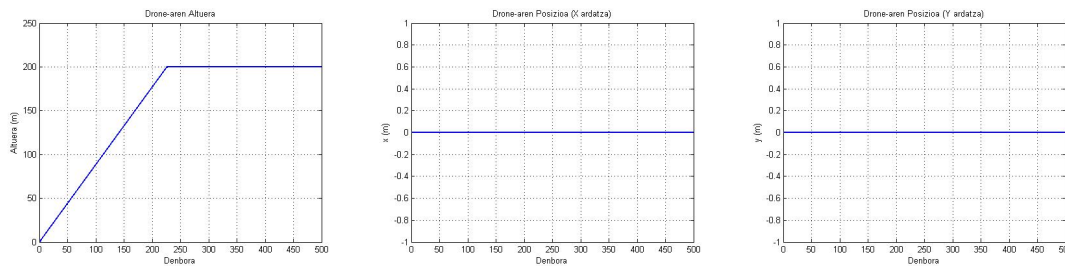
- Aplikazioa: Argazkilaritza
- Kontrola: Manuala
- Sentsoreak: Irrati rezeptorea, Canon kamara eta giroskopia
- Aktuadoreak: DC motorrak, 10 Wattioko potentziarekin
- Ez aukeratutako osagaiak: kontrol automatikoa, GPS-a, GoPro kamara, 20 watt-ioko motorrak

Bestalde, 500 segundotako hiru simulazio egin ditugu. Hiru simulazioen arteko ezberdintasuna kanpoko ingurumeneko haizearekin lotura eduki du (haizerik ez, haize gutxi, haize asko). Bestalde, aldakortasuna modelatzeko proposatutako teknika, teknika uniformea eta negatiboarekin konparatu dugu. Simulazio denbora manualki neurtu da; kudeatze erremintak komertzialak edo software librekoak dira, adibidez pure::variants Pure-Systems (2014), aldakortasuna kudeatzeko erremintarik famatuena da. Lortutako emaitzak ondorengo taulan ikus daitezke:

Kanpoko ingurumena modelatzeko garaian haizea hartu dugu kontutan. Lehen aipatu bezala, hiru kasurekin egin ditugu simulazioak. Lehen kasua haizerik ez dagoenean izango da, hau da, adibidez drone-a eraikuntza baten barruan dagoenean. Bestalde, beste bi kasuetan haize gutxi eta haize asko simulatu da. Haizea modelatzerako orduan, drone-ak daukan altuera hartu dugu kontutan baita ere, hau da, zenbait eta altuera gehiago, haize gehiago. 7, 8 eta 9 irudiek simulazioen emaitzak erakusten dituzte hiru haize motentzako, hiru ardatzetan. X eta Y ardatzetan ikusi daiteke, drone-ak altuera hartuz gero, posizioa gehiago galtzen duela.

2 Taula: Proposatutako Sistema Ziber-Fisikoaren aldakortasuna modelatzeko teknikaren konparaketa aldakortasun uniforme eta negatiboarekiko

Modelatze Teknika	Simulazio Denbora	Konfigurazio konplexutasuna	Kudeatze erreminta	Modeloaren konplexutasuna
Aldakortasun uniforme	44 seg	Automatiko	pure::variants	Altua
Aldakortasun negatiboa	25 seg	Manuala	S2T2 Config	Altua
Proposatutako teknika	25 seg	Automatiko	FeatureIDE	Baxua



7 Irudia: Eraikuntza barruko simulazioa - Haizerik ez

4 Ondorioak

Artikulu honek sistema ziber-fisiko aldakorrek modelatzeko estrategia berri bat proposatu du MATLAB/Simulink erremintan simulatzeko. Arloko egoera kontutan edukita, proposatutako teknikak abantailak eskaintzen ditu simulazio denborari, konfigurazio konplexutasunari, modeloaren konplexutasunari, konfiguratzeko mailari eta modifikatzeko erraztasunari dagokionez. Honetaz aparte, sistema ziber-fisiko aldakor baten adibidea proposatu da eta bere aldakortasun puntu ezberdinak analizatu ditugu. Aldakortasun hau FeatureIDE erreminta erabiliz kudeatu da.

Bestalde, kanpo ingurumena modelatzearen garrantzia aipatu dugu. Kasu honetarako, kanpo ingurumenaren faktore bakarra haizea hartu dugu kontutan. Hala ere, simulazioa errealistagoa izan dadin, beste funtzio batzuk kontutan hartzea gomendagarria izango litzateke, adb: objektu ezberdinak, euriak, hezetasuna, eta abar.

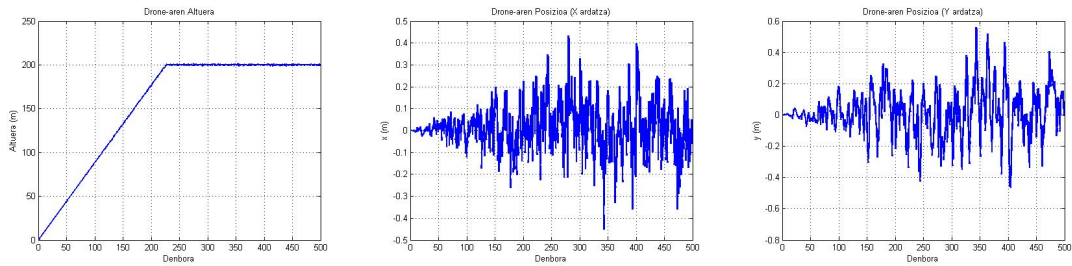
5 Etorkizuna

Etorkizuneko ikerketak sistema hauen balioztapena izango du ardatz. Sistema hauek milaka konfigurazio jasan ditzakete, eta konfigurazio guzti hauek ezin dira balioztatuz. Ondorioz, sistema hauen konfigurazioak era eraginkor batean aukeratzea garrantzizkoa da. Honetarako, gure ikerketa taldeak metodologia berri bat proposatu du test ezberdinak exekutatuzko arkitektura aldakor batekin batera (Arrieta *et al.*, 2014c)(Arrieta *et al.*, 2014b).

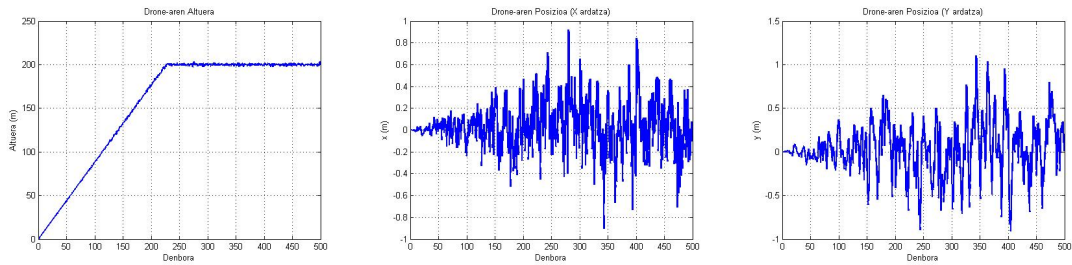
Artikulu honetan sistema ziber-fisikoaren aldakortasunean zentratu gara. Hala ere, aldakortasuna toki ezberdinetan ager daiteke. Esaterako, kanpoko ingurumenak aldakortasun ezberdinak jasan ditzake. Haizearen kasuan, haizea aldakorra eta ez-uniformea da. Aldakortasun hau etorkizunean era eraginkor batean kudeatzea izango da helburuetako bat.

Erreferentziak

- ARRIETA, AITOR, GOIURIA SAGARDUI, eta LEIRE ETXEBERRIA. 2014a. A comparative on variability modelling and management approaches in simulink for embedded systems. In *V Jornadas de Computación Empotrada*, number 26-33 in JCE 2014.
- , —, eta —. 2014b. A configurable test architecture for the automatic validation of variability-



8 Irudia: Egun ez haizetsu baten simulazioa



9 Irudia: Egun haizetsu baten simulazioa

intensive cyber-physical systems. In *VALID 2014: The Sixth International Conference on Advances in System Testing and Validation Lifecycle*, 79–83.

—, —, eta —. 2014c. A model-based testing methodology for the systematic validation of highly configurable cyber-physical systems. In *VALID 2014: The Sixth International Conference on Advances in System Testing and Validation Lifecycle*, 66–72.

BENAVIDES, DAVID, SERGIO SEGURA, eta ANTONIO RUIZ-CORTS. 2010. Automated analysis of feature models 20 years later: A literature review. *Information Systems* 35.615 – 636.

BERGER, THORSTEN, RALF RUBLACK, DIVYA NAIR, JOANNE M. ATLEE, MARTIN BECKER, KRYSZTOF CZARNECKI, eta ANDRZEJ WASOWSKI. 2013. A survey of variability modeling in industrial practice. In *Variability Modelling of Software-intensive Systems (VaMoS)*, 7:1–7:8.

DERLER, PATRICIA, EDWARD A. LEE, eta ALBERTO SANGIOVANNI-VINCENTELLI. 2011. Modeling cyber-physical systems. *Proceedings of the IEEE (special issue on CPS)* 100.13 – 28.

GURP, JILLES VAN, JAN BOSCH, eta MIKAEL SVAHNBERG. 2001. On the notion of variability in software product lines. In *Proceedings of the Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture, WICSA '01*, 45–54, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.

PURE-SYSTEMS, 2014. pure::variants. <http://www.pure-systems.com>.

THIEL, STEFFEN, eta ANDREAS HEIN. 2002. Systematic integration of variability into product line architecture design. In *SPLC*, 130–153.

THUEM, THOMAS, CHRISTIAN KASTNER, FABIAN BENDUHN, JENS MEINICKE, GUNTER SAAKE, eta THOMAS LEICH. 2014. Featureide: An extensible framework for feature-oriented software development. *Science of Computer Programming* 79.70 – 85.

WEILAND, JENS, eta PETER MANHART. 2014. A classification of modeling variability in simulink. In *Proceedings of the Eighth International Workshop on Variability Modelling of Software-Intensive Systems, VaMoS '14*, 7:1–7:8, New York, NY, USA. ACM.

6 Eskerrak eta oharrak

Lan hau sistema txertatuen taldeak burutu du, Eusko Jaurlaritzako Hezkuntza, Unibertstitate eta Ikerketa sailagatik onartuta dagoena.