



Nesne Yönelimli Programlama Yöntemi Tabanlı Ölçü Aleti Test Ortamı Tasarımı

Yazılım Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Dönem Projesi

Bertan KAYAKIRAN

ORCID 0009-0003-2714-9163

Proje Danışmanı: Prof. Dr. Doğan AYDIN

Ocak 2024

Nesne Yönelimli Programlama Yöntemi Tabanlı Ölçü Aleti Test Ortamı Tasarımı

ÖZ

Gömülü sistem tabanlı cihazların karmaşık yazılım ve donanım tasarımı ve bu sistemlerin gürbüz çalışırılığının doğrulaması endüstriyel çalışmalarda büyük önem arz etmektedir. Son kullanıcıya arz edilen ürünün, bu karmaşık alt yapıya rağmen basit, kullanıcı dostu, esnek ve tekrarlanabilir olması gerekmektedir. Bu nedenle yazılım test metotları, test ortamları, test donanımları ve doğrulama süreçleri endüstriyel çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, ölçüm cihazlarının donanımsal, yazılımsal ve işlevsel testlerinin otonom bir şekilde gerçekleştirilebileceği, seri haberleşme protokollerini kullanarak modelden bağımsız bir döngüde donanım test ortamı geliştirilmiştir. Nesne yönelimli programlama yöntemlerini kullanan bu ortam, ölçüm cihazı dahilinde yer alan donanım giriş/çıkış uçlarının, bir döngü içerisinde sanal okuma/yazma durumlarını taklit ederek, kontrolü ile cihaz test süreçlerini tamamlamıştır.

Anahtar Sözcükler: Döngüde donanım testi, gömülü sistemler, nesne tabanlı programlama,

Object Oriented Programming Based Test Environment Design for Measurement Devices

Abstract

The complex software and hardware design of embedded system-based devices, and verification of the robustness of these systems, are of great importance in industrial works. The product presented to the end user, despite this complex infrastructure, should be simple, user-friendly, flexible, and repeatable, Therefore, software testing methods, test environments, test hardware, and verification processes are frequently used in industrial works.

In this study, a hardware in loop test environment where hardware, software, and functional tests of measurement devices can be autonomously realized, using serial communication protocols, has been developed in a model-independently. This environment, which utilizes object-oriented programming methods, completes the device testing process with control by mimicking virtual read/write states of hardware input/output ports within a loop.

Keywords: Hardware in loop test, embedded system, object oriented programming

Teşekkür

Proje çalışmasına katkılarından dolayı zaman ve ekipman bakımından profesyonel hayatımda beni destekleyen Baylan Ölçü Aletleri A.Ş. firmasına, dostlarıma ve aileme teşekkür ederim. Bu süreçte akademik ve mesleki olarak deneyimlerini benimle paylaşan danışman hocam Prof. Dr. Doğan AYDIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Şekiller Listesi

Şekil 3.1	Us Test Yazılımı program açılış sayfası	5
Şekil 3.2	M-Bus test sayfası.....	5
Şekil 3.3	M-Bus sorgu testi sayfası.....	5
Şekil 3.4	Başarılı ekran mesajı.....	7
Şekil 3.5	Paket sorgusu.....	9
Şekil 3.6	Günlük kayıt testi ayar parametreleri.....	10
Şekil 3.7	Günlük kayıt testi ekranı.....	11
Şekil 3.8	Saatlik log testi ayar parametreleri.....	16
Şekil 3.9	Saatlik log testi ekranı.....	20
Şekil 4.0	Uzun sorgu komutu test ekranı.....	20
Şekil 4.1	24 aylık tüketim testi ekranı.....	20

Kısaltmalar Listesi

US	Ultrasonik
HIL	Döngüde Donanım
UART	Evrensel Asenkron Alıcı/Verici
M-Bus	Sayaç Bus
Modbus	Modül Ara Birimi
GUI	Grafiksel Kullanıcı Arayüzü
IDE	Entegre Geliştirme Ortamı
TDC	Süre – Dijital Dönüştürücü
RTU	Uzaktan Yönetim Birimi
ASCII	Bilgi Değişimi için Standart Amerikan Kodu
TCP	Geçiş Kontrol Protokolü
IR	Kızılötesi

İçindekiler

Öz	i
Abstract	ii
Teşekkür	iii
Şekiller Listesi.....	iv
Kısaltmalar Listesi.....	v
1 Giriş	1
2 Materyel ve Metot.....	4
2.1 Baylan US Isı Sayacı.....	4
2.2 Java Nesne Tabanlı Programlama Dili.....	4
2.3 Netbeans IDE.....	5
2.4 Swing.....	5
2.5 Haberleşme Protokolleri.....	5
2.5.1 M-Bus Seri Haberleşme Protokolü.....	5
2.5.2 Modbus Seri Haberleşme Protokolü.....	6
2.5.1 Optik Seri Haberleşme Protokolü.....	6
3 US Test Yazılımı.....	7
4 Sonuç.....	18
Kaynaklar.....	19

Bölüm 1

Giriş

Günümüzde Döngüde Donanım (HIL) test yazılımları, elektronik sistemlerin test edilmesinde giderek daha önemli bir rol oynamaktadır (Rosti vd., 2023). Karmaşıklığı artan sistemlerde geleneksel test yöntemlerinin hata tespit ve onarım başarısı azalırken HIL test yazılımları, gerçek donanım bileşenlerini kullanarak, sistemlerin gerçek zamanlı çalışma koşullarında nasıl performans ve tepki göstereceğini simüle eder (Susanth ve Bussini, 2023). Bu sayede, maliyetli sistemlerin tasarımı veya zaman açısından kritik projelerin geliştirme süreçlerinde erken aşamalarda hata tespiti ve giderilmesine katkı sağlarken, ürün kalitesi ve güvenilirliğini arttırmaktadır. Kontrollü su ve enerji tüketiminin öneminin arttığı bu dönemde, su ve ısı sayaçlarının elektronik sistemlerinde HIL test yazılımları kullanımını önemli bir yer almaktadır (Lv d., 2023).

Ultasonik/mekanik su, gaz, elektrik veya ısı sayacı gibi ölçüm cihazlarında HIL test yazılımları, bu cihazların doğruluğunu, güvenilirliğini ve performansını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Wiegleb, 2023). Bu testler, cihazların tasarım ve üretim aşamalarında kalite kontrolü ve performans değerlendirmeleri için önemli rol oynamaktadır. Gerçek sensör sinyallerini kullanarak ölçülen değerlerin gerçek değerler ile karşılaştırması için kullanılan ölçüm doğruluğu testleri, farklı sıcaklık, basınç veya akış hızları gibi farklı çevre koşullarının simüle edilerek cihazların bu koşullardaki çalışma testleri, arıza durumlarının tespiti veya hata toleransını öğrenilmesi için arıza senaryolarının simülasyon testleri, ağ üzerinden veri iletimi yapan sayaçlarda bu haberleşme protokollerinin güvenilir bir şekilde çalıştığının kontrol edilmesi için veri iletişim protokolleri testleri ve cihazların enerji tüketimini simüle ederek, özellikle uzun süreli veya düşük enerji çalışan sistemlerde enerji verimliliği testleri sayaçların üretim aşamasında etkili bir şekilde kullanılmasını sağlar.

İlgili çalışmanın iş ve zaman anlamında planlamasının yapılabilmesi adına bilimsel yazımda yer alan çalışmalar incelenmiş ve yöntemler belirlenmiştir. Hamdan (2022) elektrik enerjisi tüketimini ve akıllı şebeke parametrelerinin izlenebildiği ve anlamlandırıldığı bir test ortamı tasarlamış ve sonuçlarını paylaşmıştır. Perçin vd. (2022), gerçek sistemlerin izlenmesi ve test edilmesi adına düşük bütçeli veri toplama kartı ve yazılımı tasarımı gerçekleştirmiş olup, genel örnekler ile çalışma ilkelerini anlatmışlardır. Staff (1962), su sayaçlarının seçimi, kurulumu, bakımı ve testi gibi süreçlerin detaylıca anlatıldığı bir çalışmayı tamamlayarak, test koşulları ve test standartları hakkında bilgi vermiştir. Janiga vd. (2015) belirli parametrelere göre akıllı sayaçlar ve ilgili cihazların test edilmesi için oluşturulan test sistemini açıklamışlardır. Test sistemi, akıllı sayaçların laboratuvar ölçüm ve testi için kullanıldığı gibi aynı zamanda akıllı sayaç ile akıllı sayaç veri ağındaki diğer noktalar arasındaki iletişimi de test etmek için kullanılmaktadır. Leping vd. (2019), akıllı sayaç üretim doğruluğu ve güvenilirliğini arttırmak, yazılımsal hata ve problemleri ayıklamak ve fonksiyonel özelliklerin verimliliğini tespit etmek amacı ile bir test yazılımı ortamı önermişlerdir. Gerçek sistemlerde karşılaşılan hatalara dayanarak oluşturulan bu ortamın tasarım gereklilik ve temelleri paylaşılmıştır.

Bu çalışmada, 32-bit Arm Cortex M0 mimarisi kullanan bir mikro-işlemci ile çalışan, ultrasonik akış ölçümü yaparak enerji hesaplayan, evrensel asenkron alıcı/verici (UART), çevre birimi üzerinden sayaç Bus (M-Bus), modül ara birimi (Modbus) haberleşme protokolleri ve optik göz üzerinden seri haberleşme yapabilen ısı sayacı için haberleşme protokollerinin doğruluğu ve sayaç firmasının sunduğu sayaç içi özelliklerin test edilebilmesi için NetBeans entegre geliştirme ortamında (IDE), nesne tabanlı programlama dillerinden biri olan Java ile, javanın standart kütüphanelerinin bir parçası olan Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (GUI) aracı olan Swing kullanılarak veri iletişim protokolleri test arayüzü oluşturulmuştur. Bu arayüz ile kullanılan seri haberleşme türü seçilerek protokole özgü sorgu testleri ve bu haberleşme türü üzerinden sayaca özgü olabilen belirli gün sayısındaki tüketim kayıtlarının okunması, sayaç bilgilerinin değiştirilmesi gibi durumlar simüle edilmiştir.

Bu tezin kalan kısımları sırasıyla üç bölümden oluşmaktadır: Çalışmada kullanılan donanımsal ve yazılımsal yöntem ve araçların incelendiği Bölüm-2, çalışma dahilinde belirtilen senaryoların açıklandığı ve sonuçların paylaşıldığı Bölüm-3 ve çalışma çıktıların özetlenip, tartışılıp ve gelecek yönlerinin belirtildiği sonuç bölümü Bölüm-4.

Bölüm 2

Materyal ve Metod

Çalışmanın bu kısmında kullanılan donanımsal/yazılımsal araçlar ve yöntemler tartışılacaktır.

2.1 Baylan US Isı Sayacı

Isı sayaçları, bir sisteminin tükettiği ısıyı ölçen cihazlardır (Baylan internet sayfası, 2023). Bu cihazlar genellikle su veya buhar gibi ısı taşıyıcı akışkanlar ile ısıtma, soğutma ve ısıtma/soğutma sistemlerinde kullanılır. Isı sayaçları temel olarak akış ölçümü, sıcaklık ölçümü ve ısı hesaplamaları bölümlerinden oluşmaktadır.

Temel çalışma prensiblerini yerine getirmesi için yapılan bir Baylan US Isı Sayacının üretimi sırasında, akış ölçümü için ses dalgası üreten transducer ve bu ses dalgalarının birbirine ulaşması sırasındaki geçen sürenin hesaplanması için süreyi dijital veriye dönüştüren (TDC) çip kullanılmıştır. Sıcaklık sensörleri kullanılarak TDC çipi (Wang vd., 2023) sayesinde sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Elde edilen verilerin ısı hesaplamaları için kullanımı, kablolu ve kablosuz haberleşmelerin yapılması için Huada firmasının yapmış olduğu, 32-bit Arm Cortex M0 mimarisi kullanan bir mikro-işlemci, Keil entegre geliştirme ortamında (IDE) kodlanmıştır.

2.2 Java Nesne Tabanlı Programlama Dili

Java, Sun Microsystems tarafından geliştirilmiş bir programlama dilidir. Java, nesne yönelimli, Windows, macOS ve Linux gibi farklı sistemlerde platform bağımsız çalışabilen, diğer programlama dillerine göre daha hızlı çalışabilen, masaüstü, web, ve mobil uygulamalarda kullanılabilen, yazımı ve anlaşılması kolay olan, hem yorumlanabilip hem derlenebilen bir dil olması sebebiyle günümüzde kullanılan en popüler programlama dillerinden biridir (Allen, 1990).

2.3 NetBeans IDE

Netbeans, açık kaynaklı bir entegre geliştirme ortamıdır. Başlangıçta Sun Microsystem tarafından geliştirilmiş olup daha sonra Oracle tarafından devralınmıştır. Modüler mimarisi sayesinde farklı programlama dillerini veya teknolojilerini destekleyen eklentilerin ve sürüm kontrol sistemleri gibi araçların kolayca entegre edilebilmesi sayesinde Java, PHP, C/C++ ve diğer birçok programlama dili için geliştirme yapılmasını sağlarken otomatik kod tamamlama özelliği ile kod yazım süresini kısaltmaktadır.

2.4 Swing

Java Swing, Java programlama dili için bir GUI araç takımıdır. Swing Java ile görsel arayüz oluşturmak için kullanılan çeşitli bileşen ve sınıfların olduğu bir pakettir. Swing uygulamaları, Windows, macOS ve linux gibi farklı sistemlerde platform bağımsız çalışabilirken Swing masaüstü, web ve mobil uygulamalarda kullanılmaktadır.

2.5 Haberleşme Protokolleri

Tezin bu kısmında projede kullanılan seri haberleşme protokolleri açıklanmıştır.

2.5.1 M-Bus Seri Haberleşme Protokolü

M-Bus, su/ısı sayaçları ve diğer enerji tüketim cihazları için kullanılan bir seri haberleşme protokolüdür (Rodríguez-Pérez et al., 2023). Akıllı sayaçların uzaktan okunması ve kontrol edilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. M-Bus ile haberleşen sistemler tek bir kablo birbirlerine bağlanabilirler. Uzun mesafelerde haberleşmeyi desteklediği gibi basit ve düşük maliyetlidir.

2.5.2 Modbus Seri Haberleşme Protokolü

Modbus, endüstriyel otomasyon sistemlerinde kullanılan bir seri haberleşme protokolüdür (Alzahrani et al., 2023). Modbus, basit ve düşük maliyetli olması nedeniyle özellikle mikro-ışlmcilerin ve diğer düşük güçlü cihazların kullanımında uygundur. RTU, ASCII ve TCP protokolleri olmakla birlikte en yaygın ve projede kullanılanı RTU'dur.

2.5.3 Optik Seri Haberleşme Protokolü

Optik seri haberleşme, iki cihaz arasında veri alışverişı için kullanılan bir seri iletişim protokolüdür (Romero ve Linnartz, 2023). Veri iletimi, kızılötesi (IR) ışık kullanarak gerçekleştirilir. Elektromanyetik dalgalar kullanmadığı için elektromanyetik parazitlere karşı dayanıklı olduğu gibi radyo frekansı (RF) sinyallerine göre daha güvenli ve gizlidir.

Bölüm 3

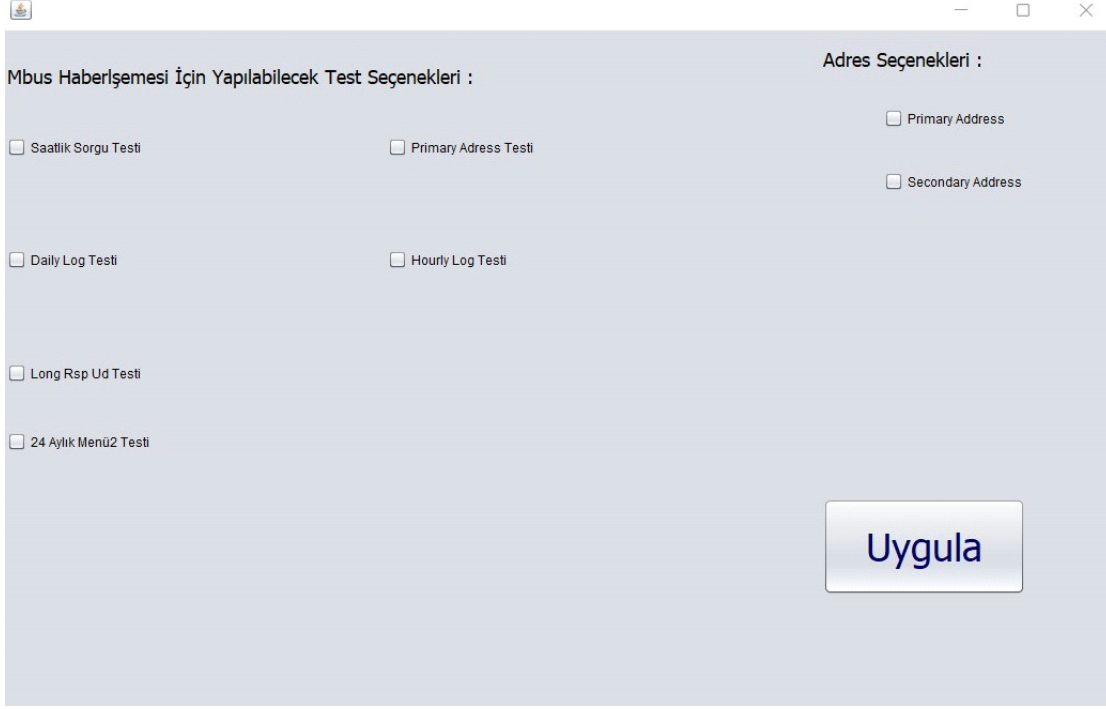
US Test Yazılımı

US 1S1 sayacında 3 katmanlı modüler bir mimari kullanılarak yeniden hazırlanmıştır. Yapılan bu yenilikler ile sayacın daha verimli bir şekilde test edilebilmesi için sayacın seri haberleşme protokollerinin ve bu protokoller üzerinden yapılan sayaca özgü özelliklerin testleri sırasında kullanılacak bir arayüz yapılmıştır. US Test Yazılımı programının açılış sayfası, kullanılacak seri haberleşme protokolünün seçeneklerinin ve bu protokole ait haberleşme hızının, gönderilecek bit sayısının, durdurma bitinin uzunluğunun ve parity'sinin seçilerek ayarların yapılıp, haberleşmenin yapılacağı COM/PORT seçilmesiyle birlikte seçilmiş olan protokolün test sayfasına gitmektedir (bakınız Şekil 3.1).



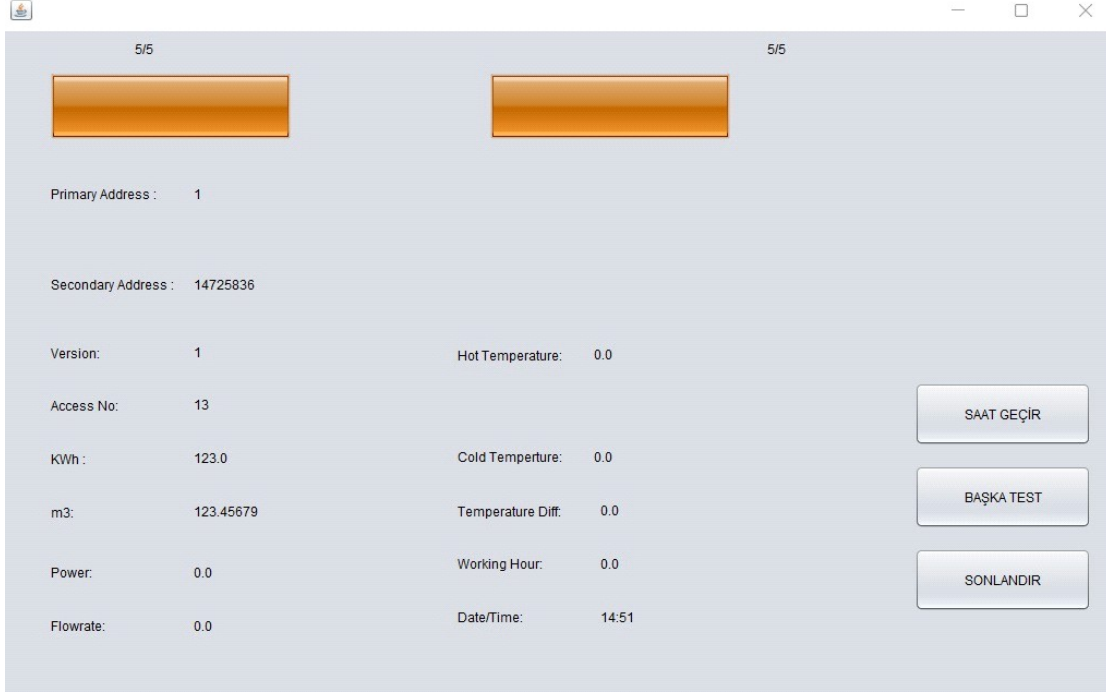
Şekil 3.1: US Test Yazılımı programı açılış sayfası

M-Bus protokolünün test sayfasında, M-Bus protokolünün sorgusunun yapıldığı sorgu testi, yine protokole ait olarak birincil numarasının değiştirilmesi ve okunabilirliği testi yapılabilmektedir. Ayrıca bu protokol üzerinden sayaca ait özelliklerin testleri yapılabilmektedir, Bunlar uzun sorgu komutu testi, günlük ve saatlik tutulan kayıtların okunabilirliği testi ve 24 aylık tüketim testleridir. Ayrıca M-Bus protokolüne ait testlerin gerçekleştirilmesi için birincil adresin, diğer testlerin yapılması için ikincil adresin seçilerek diğer aşamaya devam edilmektedir (bakınız Şekil 3.2).



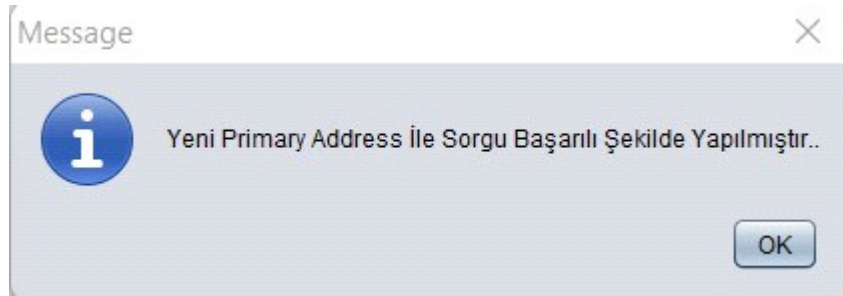
Şekil 3.2: M-Bus test sayfası

Saatlik sorgu testine başlamadan önce bu sorgunun kaç defa ve hangi periyotlar ile yapılacağı belirlenmektedir. Saatlik sorgu testi, M-Bus ile haberleşen sayacın istendiği durumda, protokole uygun bir şekilde hazırlanan paketi kontrol eder. Projede kullanılan sayaca ait paket içeriğinde birincil ve ikincil adres, sayaç versiyonu, sayaca erişim sayısı, ısı ve su tüketimi, güç, debi, sıcaklık sensörlerinin değerleri, çalışma zamanı ve tarih bulunmaktadır. Yapılan test programının arayüzünde, paket içeriğinden bahsedilmiş olan değişkenlerin her sorgu sırasında güncel değerleri gösterilmektedir (bakınız Şekil 3.3). Ayrıca arayüzün üst kısmında ise yapılan sorgu denemesi ve başarılı sorgular için başarı çubuğu yer almaktadır.



Şekil 3.3: M-Bus sorgu testi sayfası

Birincil Adres testi, M-Bus protokolüne ait olan birincil adresin değiştirilmesi ve değişen adres ile sorgu yapılmasını kontrol eder. Test başlanmadan önce değiştirelecek birincil adres seçilerek test başlatılır. Başarılı şekilde değişen birincil adres sonrası ekran mesajı gösterilir ve değişen adres ile paket okunabilirliği kontrol edilir (bakınız Şekil 3.4 ve Şekil 3.5).



Şekil 3.4: Başarılı ekran mesajı

Primary Address :	5	Hot Temperature:	0.0
Secondary Address :	14725836	Cold Temperture:	0.0
Version:	1	Temperature Diff:	0.0
Access No:	14	Working Hour:	0.0
KWh :	123.0	Date/Time:	14:53
m3:	123.45679		
Power:	0.0		
Flowrate:	0.0		

SONLANDIR BAŞKA TEST SAAT GEÇİR

Şekil 3.5: Paket sorgusu

Günlük kayıt testi yapılmak istendiği zaman karşımıza bir aşama daha çıkmaktadır. Bu aşama ise gün geçişinin yapılıp yapılmayacağıdır. Eğer sayaç henüz kullanılmamış durumda ise içerisinde kontrol edilebilecek bir kayıt yoktur. Gün geçişi seçilerek istenilen gün geçiş sayısı girilir (bakınız Şekil 3.6).

Daily Log Testi

Gün Geçirelecek mi ?

Geçirelecek Gün Sayısı : 10

İstenilen Gün : 5 Offset : 2

Şekil 3.6: Günlük kayıt testi ayar parametreleri

Böylelikle sayaca gün geçişi yaptırılarak kayıt oluşturulması sağlanır. Günlük kayıt testi sırasında belirtilen okunmak istenen gün sayısı ve offset ile istenilen kayıt bilgisine ulaşılabilir. Offset, bulunulan tarihten istenilen gün kadar önce ye gitmek için kullanılır. Gün geçirme işlemi yapılırsa arayüz ekranın üst tarafında geçirilmiş günler için bir çubuk ve tüketim gösterilmektedir. İşlem tamamlandıktan sonra ise ekranda bululun tabloda istenilen gün sayısı kadar veriyi tabloda göstermektedir. Her satır bir güne ait olmaktadır ve kolonlarında sırayla tarih, tüketim ve ceza durumunu göstermektedir (bakınız Şekil 3.7).

20/20

Tüketim : 30

Tarih/Saat : 6.3.24 0:0

Tarih	Tüketim	Ceza Durumu
24.2.24	20	
25.2.24	21	
26.2.24	21	
27.2.24	22	
28.2.24	23	
29.2.24	24	
1.3.24	25	
2.3.24	26	
3.3.24	27	
4.3.24	28	

Gün Geçirelecek mi ?

Geçirelecek Gün Sayısı : 20

İstenilen Gün : 10

Offset : 2

SONLANDIR BAŞKA TEST TEKRAR

Şekil 3.7: Günlük kayıt testi ekranı

Saatlik log testi sırasında, kullanılmamış bir sayaç için günlük kayıt testinde gün geçişi bulunduğu gibi saat geçişi seçeneği mevcuttur. Fakat bu testin bir aşaması daha vardır. Kullanılmamış bir sayacın saha koşullarında kayıt işleminin yapılabilmesi için gün geçişi olmalıdır (bakınız Şekil 3.8).

Hourly Log Testi

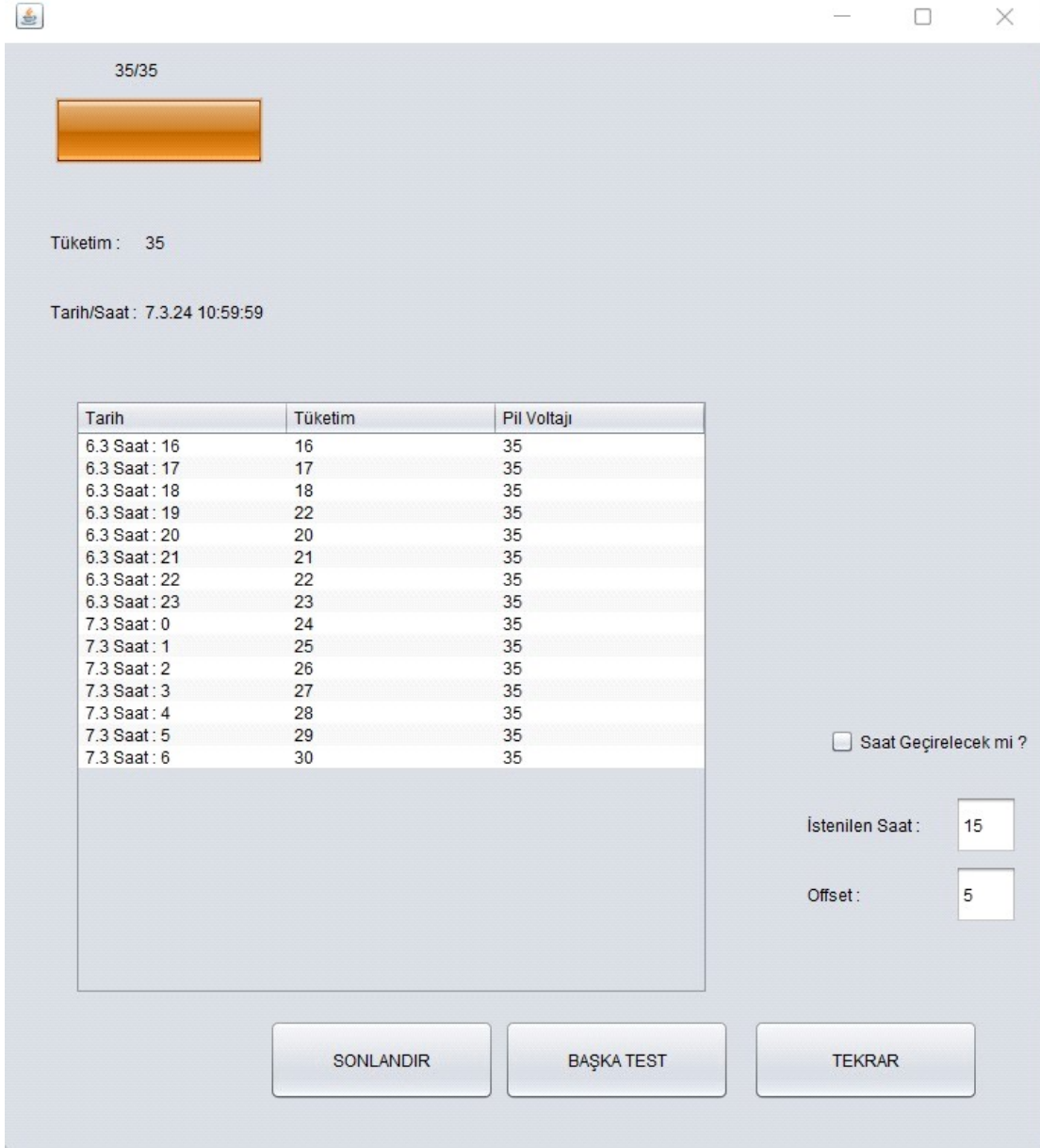
Saat Geçirelecek mi ? Log Aktif Edilsin mi ?

Geçirelecek Saat Sayısı : 35

İstenilen Saat : 15 Offset : 5

Şekil 3.8: Saatlik log testi ayar parametreleri

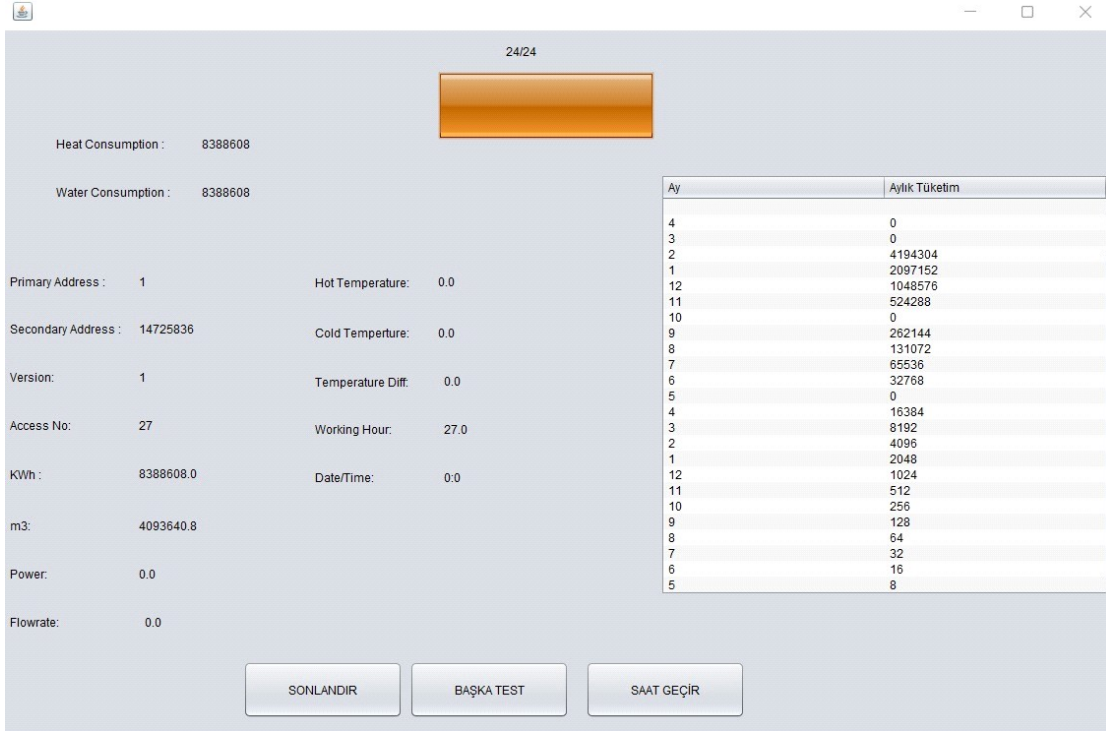
Bu nedenle günlük kayıt testinde olmayan, kayıt başlatılsın mı seçeneği mevcuttur. Kayıt işlemi başlatılsın özelliği seçilirse gün geçisi yaptırılır ve ekran mesajı gösterilir, ardından saat geçirme işlemi yapılır. Bu işlem arayüz ekranın üst tarafından tüketim ve tamamlanan saat çubuğundan takip edilebilir. Saat geçirme işlemi de tamamlandıktan sonra ekranda bulunan tabloda istenilen saat sayısı kadar veriyi göstermektedir. Her satır bir saatlik veriyi ait olmakla birlikte kolonlarda sırayla tarih, tüketim ve pil voltajını göstermektedir (bakınız Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Saatlik log testi ekranı

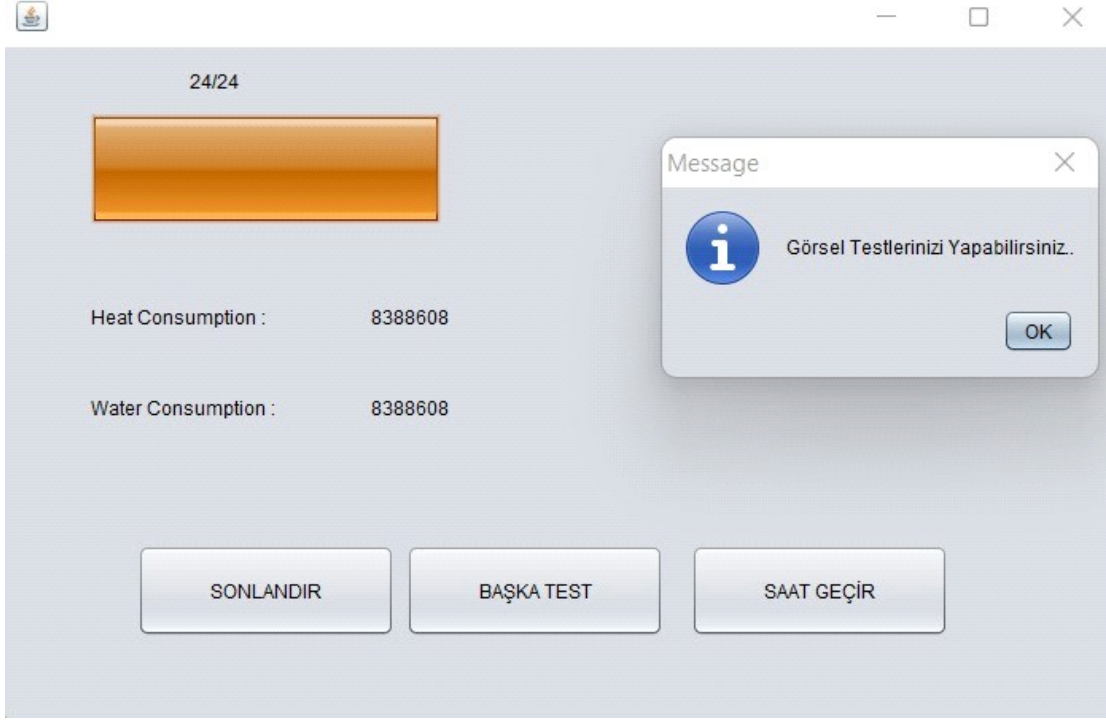
Uzun sorgu testi yapılmak istendiği zaman yeniden bir seçenek çıkmaktadır. Bu seçenek ay geçişinin yapılıp yapılmayacağıdır. Bu seçeneğinin olmasının sebebi, uzun sorgu testi içeriğinde hem M-Bus sorgu komutunun paket içeriği hem de 24 aylık aya özgü tüketim bulunmasıdır.

Arayüz ekranının üst kısmında ay geçişi sırasında kullanılan ay çubuğu ve tüketim değerlerigösterilmektedir. Bununla birlikte M-Bus paket içerğinde bulunan değişkenlerin değerleri ve 24 aylık tüketim verisinin aylara özgü gösterildiği tablo bulunmaktadır (bakınız Şekil 4.0).



Şekil 4.0: Uzun sorgu komutu testi

24 aylık tüketim testi ise sayacın tüketimleri değiştirilerek sayaca ay geçirilmesi ile gerçekleştirilir. Test başlatıldıktan sonra arayüz ekranında geçen ayları gösteren bir çubuk ve tüketim değerleri gösterilir (bakınız Şekil 4.1). Test tamamlandıktan sonra ekran mesajı gösterilir ve kontroller görsel olarak gerçekleştirilir.



Şekil 4.1: 24 aylık tüketim test ekranı

Sayaçta kullanılan diğer haberleşme protokollerinin testleri için farklı programlar mevcuttur. Fakat sayaca özgün olan günlük ve saatlik kayıtların okunması Modbus ve optik haberleşme üzerinden de okunabilmektedir. M-Bus protokolünde günlük ve saatlik kayıt testleri aşamasında gerçekleştirilebilen her özellik bu protokollerde de mevcuttur.

Bölüm 4

Sonuç

Bu çalışmada US Isı Sayacı için Java programlama dilini kullanan nesne yönelimli programlama yöntemi tabanlı bir HIL test ortamı geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan donanımsal ve yazılımsal araçlar incelenmiş, HIL simülasyon çalışması için gerekli şartlar tanımlanmış ve ilgili sistemin test senaryoları paylaşılmıştır. İlgili sistemin hafıza, ölçüm yaptığı büyüklükler üzerinden hassasiyet, fonksiyonel ve yöntemsel gibi özelliklerinin seri haberleşme protokolleri üzerinden test edildiği bu sistemin üretim, yazılım ve donanım doğrulama süreçleri açısından faydaları tartışılmış ve avantajları gösterilmiştir. Böylece, Java programlama dilinin nesne yönelimli programlama yöntemleri ile HIL simülasyon ortamları tasarlamakta kolaylığı ve kullanılabilirliği tespit edilmiştir. Çalışmanın gelecek yönlü hedefleri arasında, rastgele oluşan hata senaryolarına karşı derin öğrenme tabanlı hata-tespit algoritmaları tasarımı mevcuttur.

Kaynaklar

- Rosti, M., Cii, S., Bussini, A., Calvi, P. M., & Ripamonti, F. (2022, June 28). Design and validation of a hardware-in-the-loop test bench for evaluating the performance of an active mass damper. *Journal of Vibration and Control*, 29(17–18), 4093–4106. <https://doi.org/10.1177/10775463221111262>
- Sushanth, G., & Ravish Aradhya, H. V. (2023, February 24). Hardware in loop network simulators — An insight overview. *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing*. <https://doi.org/10.1142/s1793962324300012>
- Lv, F., Pan, Y., Li, H., Du, X., & Tan, S. (2023, March 9). Trial of smart electricity meters with Chongqing regional characteristics. *International Conference on Optoelectronic Materials and Devices (ICOMD 2022)*. <https://doi.org/10.1117/12.2674149>
- Wiegleb, G. (2023). Calibration and Test Methods. *Gas Measurement Technology in Theory and Practice*, 683–776. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37232-3_12
- Z. (n.d.). *Baylan Water Meters & Baylan Su Sayaçları*. BaylanWaterMeters. https://www.baylanwatermeters.com/en/products_en.php?cat=24#product-cat-24
- Wang, Y., Xie, W., Chen, H., & Day-Wei Li, D. (2023, January). High-resolution time-to-digital converters (TDCs) with a bidirectional encoder. *Measurement*, 206, 112258. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112258>

- Allen, M. J. B. (1990). Marsilio Ficino. Three Books on Life. Ed. and tr. Carol V. Kaske and John R. Clark. Binghamton: Center for Medieval and Early Renaissance Studies. State University of New York at Binghamton, 1989. xiv + 507 pp. \$32. - The Letters of Marsilio Ficino. Volume 4 (Liber V). Tr. Members of the Language Department of the School of Economic Science. London. London: Shephard-Walwyn, 1988. xxiii + 184 pp. £13.95. *Renaissance Quarterly*, 43(4), 829–832. <https://doi.org/10.2307/2862797>
- Rodríguez-Pérez, N., Domingo, J. M., López, G. L., & Hajigholi, M. (2023, June 25). Scalability Analysis of a Wireless M-Bus System for Smart Metering and Sensoring. *2023 IEEE Belgrade PowerTech*. <https://doi.org/10.1109/powertech55446.2023.10202977>
- Alzahrani, A., Wangikar, S. M., Indragandhi, V., Singh, R. R., & Subramaniaswamy, V. (2023, February 1). Design and Implementation of SAE J1939 and Modbus Communication Protocols for Electric Vehicle. *Machines*, 11(2), 201. <https://doi.org/10.3390/machines11020201>
- Vargas Romero, D., & Linnartz, J. P. M. G. (2023, March 10). Impact of the IR LED temperature on the throughput of optical wireless communication links. *Physics and Simulation of Optoelectronic Devices XXXI*. <https://doi.org/10.1117/12.2655048>