

Literature Research:

FPGA Based Remote Accessible Digital System Laboratories

M. Serdar Başçıl¹, İrfan Yazıcı², Feyzulah Temurtaş¹

¹Bozok University, Electrical&Electronics Eng. Dept., Yozgat, Turkey.

²Sakarya University, Electrical&Electronics Eng. Dept., Sakarya, Turkey.

Abstract: Since the internet entered daily life, studies and applications regarding remote access and control have grown and developed rapidly. Remote access and control is an application by means of which we utilize laboratorial sources and devices without being physically in laboratory. One of the growing and widespread study areas in this regard is remote access and control laboratories which became popular recently. Remote access laboratories are applications in which researchers and students around the world can access laboratorial devices, experiment by software, acquire result and even see live video stream of laboratory via internet. Therefore, student, without being in laboratories physically, can get logical circuit experiments by software which are crucial for Electrical and Electronic Engineering education and observe results. Studies which are made by use of Field Programmable Gate Arrays (FPGAs), increase application aims by broadening advantages of these laboratories. In this study, a literature search was performed on FPGA based remote accessible digital system laboratories. By giving information in respect of studies in literature, these studies were classified, contrasted and commented according to different techniques used in applications.

Keywords: Internet, Remote Access and Control Laboratories, Field Programmable Gate Arrays (FPGA)

Literatür İncelemesi:

FPGA Tabanlı Uzaktan Erişilebilir Sayısal Sistem Laboratuvarları

Özet: İnternet günlük yaşantımıza girdiğinden beri, uzaktan erişim ve kontrol üzerine yapılan çalışmalar ve bu yöndeki uygulamalar gün geçtikçe artmış ve gelişmiştir. Uzaktan erişim ve kontrol, ulaşmak istediğimiz kaynağı sanki ordaymışız gibi kullanmamıza imkan sağlayan bir uygulamadır. Bu doğrultuda gelişen ve yaygınlaşmaya başlayan çalışma alanlarından birisi de, son zamanlarda popüler hale gelen uzaktan erişim ve kontrol laboratuvarlarıdır. Uzaktan erişim laboratuvarları, internet aracılığı ile dünyanın herhangi bir yerinden laboratuvar ortamındaki cihazlara erişimin sağlandığı, yazılımsal olarak deneylerin yapılabilirdiği, komut gönderilerek sonuç bilgisinin alınabilirdiği ve hatta laboratuvar görüntüsünün canlı olarak görülebildiği uygulamalarıdır. Dolayısıyla, öğrenci fiziksel olarak laboratuvara gelmeden evden, işten ya da internete erişebileceği herhangi bir ortamdan, Elektrik Elektronik Mühendisliği'nde temel teşkil eden lojik devre deneylerini, uzaktan erişim ile yazılımsal olarak yapabilmekte ve sonuçları bire bir gözleyebilmektedir. Alan Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA) kullanılarak yapılan çalışmalar, bu laboratuvarların avantajını genişleterek kullanım amaçlarını arttırmaktadır. Bu çalışmada, FPGA tabanlı uzaktan erişilebilir sayısal sistem laboratuvarları üzerine bir literatür araştırması yapılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalar hakkında bilgiler verilerek, bu çalışmalar uygulamalarda kullanılan çeşitli tekniklere göre sınıflandırılmış, kıyaslanmış ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnternet, uzaktan erişim ve kontrol laboratuvarları, Alan Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA)

1. Giriş

1980'lerin ortalarına doğru icat edilen Alan Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA), basit lojik kapı dizlerinin yerini alarak kullanıcılar için yapılandırılabilir mikroçip teknolojisi sunan muazzam bir teknoloji ürünüdür [1,2]. Mühendislik, bilim, teknoloji, sağlık ve eğitim alanlarında

*Corresponding author; Tel.: +(90) 543 431 16 54 , E-mail:serdar.bascil@bozok.eu.tr

teknolojik gelişmelerle doğru orantılı olarak giderek büyüyen bir ihtiyaç haline gelmiştir [1-5]. Son zamanlarda popüler hale gelen FPGA tabanlı uzaktan erişilebilir sayısal sistem laboratuvarları da, bu doğrultuda gelişen ve yaygınlaşmaya başlayan çalışma alanlarından birini oluşturmaktadır.

Uzaktan erişilebilir sayısal sistem laboratuvarları, internet aracılığı ile dünyanın herhangi bir yerinden laboratuvar ortamındaki cihazlara erişimin sağlandığı, yazılımsal olarak deneylerin yapılabildiği, komut gönderilerek sonuç bilgisinin alınabildiği ve hatta laboratuvar görüntüsünün canlı olarak görülebildiği uygulamalardır [6-14]. Bu gibi avantajları sayesinde mühendislik eğitimi alan öğrenciler içinde iyi bir eğitim ortamı sağlamaktadır. Öğrencinin lokal laboratuvarı kullanabilmesi için kendine ayrılan saatte laboratuvara gelmesi gerekliliğini ortadan kaldırarak esnek bir kullanım amacı sağladığı gibi gerçek laboratuvar ortamında yapılması muhtemel olan yanlış bağlantı, dikkatsizlik, yanlış ölçüm vb. gibi durumlarda, kullanılan cihazların da zarar görmesini önlemektedir [15,16].

Uzaktan erişim ve kontrol üzerindeki çalışmaların oldukça köklü bir geçmişi bulunmakla birlikte, bu konudaki ilk çalışmalar Argone Ulusal Laboratuvarı tarafından 1954 yılında geliştirilen master-slave tele operatörlere kadar dayanmaktadır [17]. Bu dönemden sonra değişik amaçlı çalışmalar üzerinde yoğunlaşmış ve 1991 yılına gelindiğinde Aburdene ve arkadaşları uzaktan kontrollü sistem laboratuvarı tasarımını amaçlayarak üniversiteler arasında uzaktan data paylaşımını sağlayan, ilk uzaktan kontrollü sistem laboratuvarını yapmayı başarmışlardır [18]. Bu çalışma sonraki yıllarda, McKee ve Barson kullanmış oluşturdukları robotik laboratuvarını paylaşımına açmak ve uzaktan erişim sağlayabilmek amacıyla interneti kullanmaları [19], Esche ve arkadaşları Stevens Teknoloji Enstitüsü'nde lisans öğrencilerinin laboratuvar eğitimleri için internet tabanlı uzaktan erişim yaklaşımını benimsemesi [20], Salzman ve arkadaşlarının internet üzerinden gerçek zamanlı kontrol edilebilen online mühendislik laboratuvarları üzerinde çalışması [21], Chen ve Crotty bir telefon sayesinde mikrokontrolörlerin uzaktan kontrol edilebilmesini başarması [22], Fujii çoklu kullanıcı erişimi için ortaya koyduğu randevu sistemine sahip donanım tasarımı ve testi sağlayan uzaktan erişim laboratuvarını oluşturması [23], Çizgi TAGEM firmasının internet aracılığı ile uzak masa üstü bağlantısı sayesinde e-Lab FPGA adı altında tüm kullanıcıların hizmetine sunduğu gömülü sistem laboratuvarı meydana getirmesi [24] gibi FPGA temelli uzaktan erişilebilen çalışmalara ön ayak olmuştur.

2. Literatür İncelemesi

Kısaca, programlanabilen aygıt olarak tanımlayabileceğimiz Alan Programlanabilir Kapı Diziler (FPGA), genel olarak yapılandırılabilir mantık blokları ve bu bloklar arasında değiştirilebilen ara bağlantılardan oluşan, içyapısı kullanıcı tarafından belirlenebilen donanım programlanabilir sayısal tümleşik devreler olarak tanımlanır [1,15,16,25]. Temelini, CPLD (Karmaşık Programlanabilir Lojik Devre)'ler oluşturmaktadır. 1984 yılında, Ross Freeman Xilinx'i kurarak FPGA geliştirme çalışmalarını başlatmış ve 1985 yılında ilk FPGA kartını icat etmiştir [26].

2.1. FPGA Tabanlı Uzaktan Erişilebilen Sayısal Sistem Laboratuvarları ile ilgili Çalışmalar

Uzaktan erişim uygulamalarının başlangıcının 1954 yılındaki çalışmalarıyla Malinowski ve arkadaşlarına kadar dayandığı kabul edilmektedir [17]. İlk uzaktan erişim ve kontrol laboratuvarlarının başlangıcı olarak ta, 1991 yılındaki Aburdene ve arkadaşlarının yaptığı kontrol

laboratuvarı gösterilir [18]. FPGA tabanlı uzaktan erişilebilen sayısal sistem laboratuvarı uygulamalarının ise 2000 yılında başladığı görülmüştür.

Nouel ve arkadaşları, 2000, Fransızca da uzaktan erişilebilir FPGA test devresi anlamına gelen “MEsure à DIstance de CIrcuitS” kelimesindeki büyük harflerin bir araya gelmesiyle oluşan MEDICIS adını verdikleri uzaktan erişilebilen bir FPGA laboratuvarı oluşturmuşlardır. Client/server (istemci yada kullanıcı bilgisayar / sunucu bilgisayar) temeline göre tasarlanmış olan bu yapı kullanıcıya görsel bir ara yüz sağlamak için Java programlama dili kullanılmaktadır. MEDICIS, sunucuya RS232 portu aracılığı ile bağlı bir lojik analizör (HP16500A), onun örnek üreticisi ve probalar aracılığı ile lojik analizöre bağlı bir Xilinx 4600E FPGA kartı içermektedir. VHDL donanım tasarlama dili ile yazılan program, kullanıcı tarafında simüle edilerek server tarafına aktarılıp lojik analizörün örnek üreticisi ile FPGA'nın yapılandırılmasını sağlamaktadır. Sonuç çıktılarının değerlendirilmesi ise, FPGA çıkış sinyallerinin lojik analizör tarafından toplanarak sunucuya ve buradan da kullanıcı kısmına iletilmesiyle kullanıcı tarafından yapılmaktadır. [27].

Izumi ve arkadaşları, 2001, dijital devre deneyleri için web tabanlı yeni bir eğitim sistemi tasarlamayı amaçlamış ve client/server (istemci yada kullanıcı bilgisayar / sunucu bilgisayar) modelini benimsemişlerdir. Eğitim ünitesi olarak Altera Apex FPGA kartı kullanmışlardır. Sunucu kısmında yer alan grafiksel kullanıcı ara yüz programı (GUI) ile görsel olarak oluşturulan lojik tasarım, internet üzerinden HDL kodu olarak JTAG arabirimi ile FPGA'ya yazılabilmektedir. Kullanıcı ara yüz programı üzerinden devrenin giriş çıkışlarını 1 ya da 0 olarak belirleyebilmekte ve devre girişine uygulanacak saat frekansını seçerek binary dizisi olarak FPGA'ya uygulayabilmektedir. Elde edilen sonuçlar, FPGA içinde yer alan BSR (Boundary Scan Register) kullanılarak kontrol edilmiştir [28].

McCracken ve arkadaşları, 2003, MUDL (Multi-User Distance Laboratory) adını verdikleri birden çok kullanıcının aynı ortam üzerinde buluşup, gerek görüntülü gerekse yazılı mesaj sayesinde fikir paylaşımı yaparak uzaktan FPGA kontrolü sağlayabildikleri bir laboratuvar tasarlamışlardır. Bu tasarıda, kullanıcılar ile uzaktaki bilgisayar arasında sanki uzak masaüstü bağlantısı kuruyormuş gibi bir imkan sağlayan VNC (Virtual Network Computing) programı ve birden çok kullanıcının aynı ortamda buluşmasını sağlayan COTS (Commercial Off The Shelf) yazılım alt yapısı kullanılmıştır. Aynı ortama giriş yapan kullanıcıların birbirleriyle video konferans formatında görüşebilmeleri ve yazışma yapabilmeleri de MS NetMeeting yazılım uygulaması tarafından sağlanmıştır. Programlama ünitesi olarak Altera UP1 FPGA kartı seçilmiş ve kullanıcıların FPGA girişlerini görsel anahtar ve butonlar üzerinden değiştirip çıkışları da ledler üzerinden görebilmeleri için basit bir ara yüz programı (IS) tasarlanmıştır. [29].

Pastor ve arkadaşları, 2004, FPGA tabanlı RISC (Reduced Instruction Set Computer) mikroişlemci yapısına sahip uzaktan erişilebilen bir laboratuvar tasarlamışlardır. Yüksek hafıza kapasitesine sahip olması nedeniyle XILINX XC4013E FPGA kartı kullanılmış ve bu kartın yapılandırılmasını sağlamak amacıyla da akademik amaçlar için kullanılan ve yeniden yapılandırılabilen Labomat3 düzeninden faydalanmışlardır. Uzak laboratuvara erişim internet üzerinden client/server (istemci yada kullanıcı bilgisayar / sunucu bilgisayar) yapısı kullanılarak sağlanmıştır. Web tasarımı ile gerçekleştirilen bir ara yüz sayesinde kullanıcının yazmış olduğu mikroişlemci tasarım kodu, internet üzerinden sunucuya iletilerek MicroDebug programı sayesinde FPGA'ya yazılması ve donanımın test edilmesi sağlanmıştır [30].

Rusten ve Kolberg, 2004, OICLab (One Instruction Computer Laboratory) adını verdikleri client/server (istemci yada kullanıcı bilgisayar / sunucu bilgisayar) yapısı kullanan uzaktan

erişimli bir laboratuvar tasarlamışlardır. Kullanıcı, HTML tabanlı özel Java Applet uygulaması kullanan bir ara yüz ile client bilgisayar üzerinden internet aracılığı ile sunucuya bağlanarak OICLab'a erişmektedir. Değişik tasarıların dizayn edilerek FPGA'ya uygulanması için sunucu üzerinde yer alan C# tabanlı görsel bir ortam kullanılmıştır. Laboratuvara eklenen standart bir web kamerası ile hardware sunucusundaki emulator programı üzerinden donanım çalışması gerçek zamanlı olarak gözlenmiştir [31].

Fujii ve Koike, 2005, TDeLMS (Topdown eLearning System) adını verdikleri donanım tasarımı ve dijital devre deneyleri için uzaktan erişilebilen yeni bir laboratuvar geliştirmişlerdir. Birden çok kullanıcının internet üzerinden aynı anda laboratuvardaki servis sağlayıcılara erişmek istediğinde, oluşabilecek kargaşayı önleyerek öncelik sırasını belirlemek için iş ve zaman paylaşımı sağlayan bir sistem kullanmışlardır. Uygulama kartı olarak Xilinx FPGA, sonuçların test edilmesi içinde lojik analizör (Tetronix TLAVu) kullanılmıştır. Uzak bilgisayar (servis sağlayıcı) ile FPGA kartı arasındaki iletişim JTAG protokolü, lojik analizör arası iletişim de usb bağlantı sayesinde tamamlanmıştır. Kullanıcının kampüs alanındaki laboratuvara internet üzerinden güvenli bir şekilde erişimi için VPN (Virtual Private Network) erişim protokolü kullanılmaktadır. Kullanıcı, servis sağlayıcı üzerindeki grafiksel ara yüz programını (GUI) kullanarak HDL kodu ile hazırladığı tasarısını FPGA'ya yazmakta ve lojik analizör üzerinden FPGA çıkış sinyallerini bu ara yüz programında gözlemlemektedir [32].

Hashemian ve Pedapati, 2005, Kuzey Illinois Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği'nde, mühendislik eğitiminin deneysel olarak kurs niteliğinde pekiştirilmesi için internet erişimini kullanan bir tasarım laboratuvarı (Design Laboratory) geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, öğrenci Xilinx ISE ve ModelSim araçlarını kullanarak kendi bilgisayarında lojik tasarısını oluşturup simülasyonunu gerçekleştirdikten sonra elde ettiği design.bit dosyasını, tasarlanmış olan web sitesi üzerinden laboratuvarındaki bilgisayara iletmektedir. Bu dosyayı alan bilgisayar, kendisine JTAG protokolü ile bağlı bulunan Xilinx FPGA'ya açılma komutu gönderip açılmasını ve design.bit dosyasının FPGA'ya yazılmasını sağlamaktadır. Kullanıcı tarafından gönderilen giriş sinyaline göre FPGA'nın ürettiği sonuç çıktıları, internet aracılığı ile web sitesi üzerinden kullanıcıya iletilip simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılarak test işlemi gerçekleştirilmektedir [33].

Proske ve Trodhandl, 2006, gömülü sistem eğitimi için uzaktan erişilebilen bir laboratuvar yaklaşımı üzerinde durmaktadırlar. Öğrencilerin laboratuvara erişimi iki farklı yöntem ile sağlanmıştır. İlk yöntemde microsoft windows uygulamasının uzak masaüstü erişimi (Microsoft Windows Remote Desktop), diğer yöntemde de yine kendi geliştirdikleri ve kullanıcı bilgisayara yüklenerek FPGA'nın programlanmasından test aşamasına kadar gerekli olan bütün işlemleri sağlayan bir yazılım (Knoppix Cd) ile client/server (istemci yada kullanıcı bilgisayar / sunucu bilgisayar) yapısını kullanmışlardır. Bu uygulamada görsel ara yüz olarak X-Windows programından faydalanılmıştır. Her iki uygulamada da sonuçlar laboratuvardaki bilgisayara bağlı olan usb web kamera aracılığı canlı olarak izlenmektedir [34].

Fujii ve Koike, 2006, web tabanlı uzaktan erişilebilen bir laboratuvar üzerinde yoğunlaşmışlardır. Birden fazla kullanıcının çok sayıdaki sunucu üzerinden FPGA kartına, lojik analizör ve onun sinyal üreticine (Tektronix TLA714) ulaşmasını sağlamak amacıyla Condor yazılımını geliştirerek bir randevu sistemi tasarlamışlardır. Oluşturulan web arayüzü aracılığı ile internet üzerinden laboratuvar sunucusuna erişilerek Xilinx FPGA programlanmakta ve network uyumlu lojik analizör üzerinden geri dönüşümlü olarak FPGA çıkış bilgisi kullanıcı tarafında değerlendirilmektedir [35].

Hashemian ve Riddley, 2007, dijital donanımların yapılandırılarak test işlemini gerçekleyen bir metod üzerinde çalışmışlardır. Kurmuş oldukları laboratuvar ortamına microsoft windows uzak masaüstü bağlantısı (Microsoft Windows Remote Desktop) ile erişim sağlamışlardır, Kullanıcı, Xilinx araçlarıyla kendi bilgisayarında tasarladığı dijital devre sonucunda oluşan “.bit” uzantılı dosyayı uzak laboratuvardaki bilgisayara ftp, e-posta ya da paylaşılan bir web sitesi üzerinden göndermektedir. Sonrasında uzak masaüstü bağlantısı ile laboratuvardaki bilgisayara erişerek bu dosya ile laboratuvardaki bilgisayara bağlı olan Xilinx Spartan-3E FPGA kartını yapılandırmaktadır. LabView uygulaması sayesinde tasarlanan görsel aya yüz üzerinden FPGA giriş ve çıkışları gözlenerek, Hyper terminal programı aracılığı ile bilgi iletişimi sağlanmaktadır. NI PCI-6025E/CIS-100 data yığın ünitesi de FPGA girişlerinin etkilenmesini sağlamak için kullanılmıştır. Ayrıca, FPGA çıktıları bir web kamera üzerinden laboratuvardaki bilgisayar ekranında canlı olarak görebilmektedir [36].

Datta ve Sass, 2007, internet üzerinden kullanıcıların ulaşabileceği bir FPGA havuzu oluşturmayı amaçlamışlardır. Bu proje, uzak erişim için kullanılan 64 adet Xilinx ML-301 FPGA kartı, FPGA'lara güç sağlamak için 24 adet PDU (Power Distribution Unit), SNMP (Simple Network Management Protocol) protokolünü kullanan servis sağlayıcı ve network için HP Procurve 10/100 Ethernet switchten oluşmaktadır. Bütün FPGA kartları kurulan network üzerinden usb aracılığı ile sunucuya bağlanmıştır ve her birine IP tahsis edilmiştir. Kullanıcılar web üzerinden laboratuara erişerek sunucu tarafında oluşturulan bir yazılım aracılığı ile kullanımda olmayan bir FPGA üzerinde oturum açıp çalışmalarını bu şekilde gerçekleştirmektedir [37].

Persiano ve arkadaşları, 2007, FPGA kullanılarak yapılmış uzaktan erişilebilen üç ayrı laboratuvar uygulamasının yer aldığı bir çalışma sunmuşlardır. LabView görsel programı kullanılarak geliştirilmiş web ara yüzü üzerinden bir sayıcı, iki tekerlekli bir robot ve bir robot kolu kontrolünün yapılabildiği uygulamalar örnek verilmiştir. Tasarlanan web arayüzü üzerinde, kullanıcıya programlama yapacağı yardımcı araçlar hakkında kısa bir bilgilendirme yapılmıştır. Uygulama kartı olarak Altera Max 7000S FPGA, tasarım geliştirme ve uygulama yazılımı olarak Quartus II kullanılmıştır. Kullanıcı laboratuara uzak masa üstü bağlantısı ile erişim sağlayarak bu yazılım ile FPGA'yı yapılandırmakta ve sonuçları web kamera sayesinde ara yüzü üzerinden görebilmektedir [38].

El Medany, 2008, E-Learning olarak nitelendirdiği donanım kursları için uzaktan erişilebilen FPGA laboratuvarı tasarlamıştır. Bu laboratuvar 20 adet bilgisayar ve bu bilgisayarlara paralel port ve JTAG protokolü ile bağlı 20 adet FPGA'dan oluşmaktadır. Kullanıcı ara yüz ortamı anahtar ve ledler ile Visual Basic programı kullanılarak tasarlanmıştır. Kullanıcı uzak masaüstü bağlantısı kurarak laboratuarda yer alan bilgisayarlara erişim sağlamak ve Xilinx ISE araçları sayesinde VHDL kodu olarak hazırladığı lojik tasarımını FPGA'ya yazmakta ve ara yüz programı üzerindeki anahtar konumlarını değiştirmek suretiyle ledler üzerinden FPGA çıkışlarını gözleyebilir [39].

Herrero ve arkadaşları, 2008, dijital donanım tasarımı için FPGA platformuna uzaktan erişim sağlayan web tabanlı bir laboratuvar oluşturmuşlardır. Bu laboratuvar, client/host (istemci ya da kullanıcı bilgisayar / sunucu bilgisayar) yapısı üzerine kurulu olup, Xilinx ISE ile Mentor ModelSim tasarım araçlarını içeren dört adet Linux tabanlı bilgisayar ve bu bilgisayarlara paralel port üzerinden bağlı olan ve yardımcı ünite olarak CPLD (Karmaşık Programlanabilir Lojik Devre) içeren dört adet Xess XSB-330E FPGA ile oluşturulmuştur. Java uygulama kodları yardımıyla tasarlanmış bir PHP web sayfası aracılığı ile laboratuara erişim sağlanmaktadır. Kullanıcı yazmış olduğu tasarım kodunu bu site aracılığı ile laboratuardaki bilgisayara

göndererek FPGA ya da GPLD'nin yapılandırılmasını sağlamaktadır. Sonuç çıktılarını ise, site üzerinde yer alan sanal giriş (anahtar ve buton) ve çıkış elemanları (led ve display) kullanılarak test edebilmektedir [40].

Hui ve Tie-jun, 2008, internet üzerinden erişim sağlanarak FPGA aygıtının geliştirilmesine olanak sağlayan yenilikçi bir laboratuvar tasarlamışlardır. Uygulama yapabilmek için Altera Startix (EP1S40F780C5) geliştirme platformu ve onun Nios II işlemci altyapısı kullanılmıştır. İnternet üzerinden laboratuvara erişim, bu kartın sahip olduğu gömülü web servis teknolojisini kullanılarak yapılmıştır. Test işlemi için kamera ya da lojik analizör gibi ek bir cihaz gerektirmeyen Boundary scan metodunu kullanmışlar. SOPC (System-on-a-Programmable-Chip) tasarım ve MicroC/OS-II yazılım platformu kullanılarak FPGA'nın web sunucu yapısı oluşturulmuştur. FPGA ya ulaşım ve yapılandırma işlemi LwIP temelli HTTP protokolü üzerinden SOAP(Simple Object Access Protocol) adı verilen mesaj iletim anlaşması sayesinde gerçekleştirilmiştir. C programlama kullanılarak sistem üzerine gömülmüş bir XML derleyici yazılmıştır. Kompak flash kart, program dosyalarını ve deney sonuçlarını kaydetmek için kullanılmıştır. Öğrenci, EDA araçları yardımıyla oluşturduğu tasarım dosyaları ile kullanıcı bilgisayarı üzerinden FPGA servis sağlayıcısına erişerek FPGA yapılandırılmasını sağlamaktadır. Basit bir kullanıcı ara yüz programı sayesinde de çıkışta elde edilen sonuçlar gözlemlenebilmektedir [41].

Drutarovský ve arkadaşları, 2009, Altera ailesinden Cyclone II FPGA kartı kullanılarak yeniden yapılandırılabilir sistemler üzerine uzaktan erişimli bir laboratuvar tasarlamışlardır. Sistem, kullanıcının internet üzerinden erişim sağladığı, web sunucusu ve bu sunucunun yerel ağ üzerinden bağlı olduğu ölçüm ve uygulama bilgisayarları ile FPGA kartı, dijital hafızalı osilaskop (Tektronix TDS2004) ve lojik analizörden (Agilent 16822A) oluşmaktadır. Kullanıcılar kendi bilgisayarları üzerinde Quartus II programı yardımıyla geliştirdikleri tasarımlarını, web sunucu üzerinden uygulama bilgisayarına bağlanarak USB Blaster aracılığı ile FPGA kitine yazmaktadır. Sonrasında LabView GUI ile tasarlanan görsel kullanıcı ara yüz programı ile web sunucu üzerinden ölçüm bilgisayarına erişip lojik analizör ve dijital hafızalı osilaskop çıkışlarını gözlemek suretiyle test işlemini yapabilmektedir [42].

Drutarovský ve arkadaşları, 2009, bir önceki çalışmalarını ile aynı alt yapıyı kullanmış ve birden çok kullanıcının laboratuardan faydalanabilmesi için çalışmaya bir randevu sistemi eklemişlerdir. Çalışmada kullanılan dijital hafızalı osilaskop ve lojik analizör yanında ek olarak bir de sinyal üretici (Anritsu MG3700A) kullanmış ve 32 bit RISC (Reduced Instruction Set Computer) işlemci yapısını kullanarak dijital sinyal ve video işleme imkanı kazandırmışlardır. Bu çalışmadaki asıl hedef pahalı donanımların web ve uzak masaüstü bağlantıları sayesinde çoklu erişimine imkan sağlayarak çalışmayı geliştirmektir. Ayrıca bu çalışma ile Kosice üniversitesinde eğitim gören öğrenciler için bu konu üzerinde yüksek lisans çalışması yapabileme imkanı sağlanmıştır [43].

Daboin ve Zalewski, 2009, Florida Gulf Coast Üniversitesi'nde çeşitli mühendislik alanlarına yönelik web tabanlı uygulamaların yer aldığı yaklaşımlar üzerinde durmaktadırlar. Uygulamaların hepsi, client/server (istemci yada kullanıcı bilgisayar / sunucu bilgisayar) temeli üzerine oturtulmuştur. C# programı yardımıyla görsel bir ara yüz oluşturulmuş ve web üzerinden uygulamalara erişim sağlanmıştır. Kullanıcı tarafından yazılan VHDL kodu ile FPGA kartının yapılandırılması ve kamera aracılığı ile test işlemi de web üzerinden yapılmıştır. Uzaktan erişim ile bir alandaki sıcaklık ölçümü ve bir robot kol kontrolü uygulaması da yapılmıştır [44].

Yukarıda incelenen FPGA tabanlı uzaktan erişilebilir sayısal sistem laboratuvar çalışmaları aşağıdaki tabloda da özet halinde sunulmuştur.

3. Sonuç ve Değerlendirme

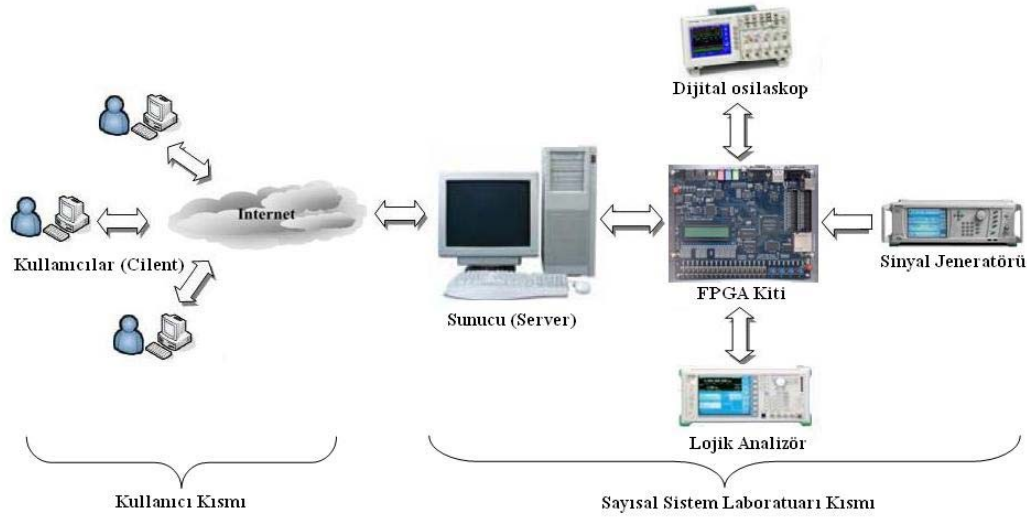
Literatür incelemesi bölümünde incelenen FPGA tabanlı uzaktan erişilebilir sayısal sistem laboratuvar çalışmaları aşağıdaki tabloda da özet halinde sunulmuştur.

Tablo-1 FPGA Tabanlı Uzaktan Erişilebilir Sayısal Sistem Laboratuvarı Çalışmaları

Referanslar ve Yapım Yılı	Kullanılan FPGA Kartı	Uzak Bağlantı Tipi	Kullanıcı Erişim Platformu (Arayüz)	Kullanılan diğer cihazlar
Nouel ve arkadaşları, 2000	XILINX	Client/Server	JAVA ve GUI ile tasarlanmış Web sayfası	Lojik Analizör
Izurni ve arkadaşları, 2001	ALTERA	Client/Server	GUI ile tasarlanmış Web sayfası	BSR (Boundary Scan Register)
McCracken ve arkadaşları, 2003	ALTERA	VNC	COTS, MS Net Meeting ve IS	Web Kamera
Pastor ve arkadaşları, 2004	XILINX	Client/Server	Standart web sayfası	Labomat3
Rusten ve Kolberg, 2004	ALTERA	Client/Server	C# ve JAVA Applet ile tasarlanmış web sayfası	Web kamera
Fujii ve Koike, 2005	XILINX	VPN	GUI	Lojik Analizör
Hashemian ve Pedapati, 2005	XILINX	Client/Server	Standart web sayfası	-
Proske ve Trodhandl, 2006	XILINX	Uzak Masaüstü	X-Windows, GUI	Lojik Analizör, VGA Monitör Knoppix Cd
Fujii ve Koike, 2006	XILINX	Client/Server	Standart web sayfası	Lojik Analizör
Hashemian ve Riddley, 2007	XILINX	Uzak Masaüstü	LabView GUI	Web kamera ve NI PCI-6025E/ CIS-100
Datta ve Sass, 2007	XILINX	Client/Server	Standart web sayfası	-
Persiano ve arkadaşları, 2007	ALTERA	Client/Server	LabView GUI ile tasarlanmış web sayfası	-
El Medany, 2008	XILINX	Uzak masaüstü	GUI Visual Basic	-
Herrero arkadaşları, 2008	XESS	Client/Server	AJAX ile tasarlanmış web sayfası	-
Hui ve Tie-jun, 2008	ALTERA	Gömülü web servis teknolojisi	C ve XML	Compact Flash Card
Drutarovský arkadaşları, 2009	ALTERA	Uzak Masaüstü	LabView GUI	Lojik Analizör ve Dijital Hafızalı Osiloskop
Drutarovský arkadaşları, 2009	ALTERA	Uzak Masaüstü	LabView GUI	Lojik Analizör, Dijital Hafızalı Osiloskop ve Sinyal Jeneratörü,
Daboin ve Zalewski, 2009	ALTERA	Client/Server	C# GUI ile tasarlanmış web Sayfası	Web Kamera

Literatür araştırması sonucu FPGA temelli uzaktan erişilebilir sayısal sistem laboratuvarı üzerine yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında, Tablo 1'den de görüldüğü gibi Nouel ve arkadaşları (2000), Izurni ve arkadaşları (2001), Pastor ve arkadaşları (2004), Rusten ve Kolberg, (2004), Hashemian ve Pedapat (2005), Fujii ve Koike (2006), Datta ve Sass (2007), Persiano ve arkadaşları (2007), Herrero arkadaşları (2008), Hui ve Tie-jun (2008) ve Daboin ve Zalewski (2009) gibi çalışmaların LabvieW GUI, C, C#, JavaApplet, PHP vb. gibi görselliğin ön

planda tutulduğu programlar ile tasarlanmış görsel bir ara yüz programı üzerinden client/server temelleri üzerine kurulu bir yapı kullanarak, McCracken ve arkadaşları (2003) çalışmasının VNC yapısı ile Fujii ve Koike (2005) çalışmasının VPN yapısı kullanarak ve Proske ve Trodhandl (2006), Hashemian ve Riddley (2007), El Medany (2008), Drutarovský arkadaşları (2009) ve yine Drutarovský arkadaşları (2009) gibi çalışmalarının da uzak masaüstü bağlantısı kurarak internet aracılığı ile laboratuvar ortamına erişim sağladıkları görülmektedir. Bu bağlamda, VNC, VPN ve uzak masaüstü ile laboratuvar ortamına erişim sağlayan çalışmalar hazır erişim programları kullanarak laboratuvar ortamına erişim sağladığı ve literatüre eğitimsel olarak bir katkı sağlamayacağı için bilimsel açıdan değerlendirildiğinde pek de özgün bir çalışma olarak görülmemektedir. Diğer çalışmalara bakıldığında hepsinin client/server temelleri üzerine kurulu olup hem bilimsel hem de eğitim amacına yönelik olarak çok daha uygun bir sonuç sağladığı görülmektedir. Bu doğrultuda, çoğu çalışmada da görüldüğü üzere bilimsel açıdan en kullanışlı ve eğitim için en uygun olan yöntem, tasarlanan görsel bir ara yüz programı yardımıyla, genel gösterimi Şekil 1’de de görüldüğü gibi, client/server temelleri üzerine kurulu bir yapı ile internet üzerinden laboratuvar ortamına erişim sağlamak olacaktır.



Şekil-1 FPGA Tabanlı Uzaktan Erişilebilir Laboratuvarlar için Genel Gösterim

Yine, McCracken ve arkadaşları (2003), Rusten ve Kolberg (2004), Hashemian ve Riddley (2007) ve Daboin ve Zalewski (2009) çalışmalarında, sonuç bilgisinin canlı olarak izlenebilmesi için bir web kamera kullanıldığı görülmektedir. Bu sayede deney sonuçlarının görsel ara yüz programı üzerinden izlenmesi yanında, kamera üzerinden görülmesi diğer çalışmalara göre artı bir avantaj sağlamıştır. Ayrıca, Nouel ve arkadaşları (2000), Fujii ve Koike(2005), Proske ve Trodhandl (2006), Fujii ve Koike (2006), Drutarovský arkadaşları (2009) ve yine Drutarovský arkadaşları (2009) çalışmalarında lojik analizör, osiloskop ve sinyal üretici gibi laboratuvar cihazlarının da kullanıldığı görülmektedir. Bu sayede, deney sonuçlarının daha doğru ve ciddi bir şekilde ölçülüp analiz edilmesi sağlanır. Fakat, kullanılan bu cihazlar kurulacak olan laboratuvarın maliyetini arttırır. Bu noktada, kullanılacak olan bu cihazların FPGA'nın olanaklarından da yararlanarak görsel ara yüz programı ile sanal bir lojik analizör, osiloskop veya sinyal üreticinin programsal olarak tasarlanıp kullanılabilceğini söyleyebiliriz.

Sonuç olarak, bu çalışma ile FPGA tabanlı uzaktan erişilebilir sayısal sistem laboratuvarları üzerine bir literatür incelemesi yapılmıştır. Önceki yıllarda yapılan çalışmalar, bu çalışmalarda kullanılan FPGA kitleri, uzak bağlantı türleri, uygulanan yöntemler, tasarlanan görsel ara yüzler ve kullanılan laboratuvar cihazları hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Client/server yapısı kullanarak görsel bir ara yüz tasarımı üzerinden laboratuvar ortamına erişim sağlayan bir

uygulama ile sanal olarak tasarlanmış analiz cihazları kullanan ve çok fonksiyonlu bir kamera eklenmesi ile kurulacak olan bir sayısal sistem laboratuvar çalışması yapılabilir. Neticede, FPGA tabanlı uzaktan erişilebilen sayısal sistem laboratuvarlarının geniş bir uygulama imkanı ve geliştirilmeye açık bir konu olduğu kanısına varılmıştır.

Referanslar (References)

1. Brown S., & Rose, J., “Architecture of FPGAs and CPLDs: A Tutorial”, IEEE Design and Test of Computers, vol. 13, pp. 42-57, 1996.
2. Sklyarov, V. & Skliarova, I., “E-learning Tools and Remote Reconfigurable Systems for Engineering Education”, International Conference on Networking and Information Technology (ICNIT), pp. 11-15, 2010.
3. Thames, J., L., Hyder, A., Wellman, R., Schaefer, D., “An Information Technology Infrastructure for Internet-Enabled Remote and Portable Laboratories”, Proceedings of the ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE), pp. 477-490, 2009.
4. Rajasekhar, Y., “FPGA Session Control: A Remote Laboratory Facility for Platform FPGA Education”, University of North Carolina Electrical Engineering Department, Master Thesis, 2008.
5. Sedcole, P., Cheung, P.,Y.,K., Constantinides, G., Luk, W., “A Structured System Methodology for FPGA Based System-on-a-Chip Design”, Proceedings of the 12th Annual IEEE Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM'04), pp. 271-272, 2004.
6. Gündüz, M., Baykan, Ö. K., Yıldız, F., “Elektronik Deneyleri için Sanal Laboratuvar Uygulaması”, Selçuk Üniversitesi Teknik Online Dergisi, Cilt 6, sayı 2, 2007.
7. Delikanlı, K., “Uzaktan Erişimli Kontrol Laboratuvarı”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2007.
8. Seinauskas, R., “A distance laboratory for computer-aided design”, IEEE International Conference on Microelectronic Systems Education(MSE'97), pp. 107-108, 1997.
9. Lin, P. & Lin, M., “Design and implementation of an internet-based virtual lab system for eLearning support”, Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'05), pp. 295-296, Kaohsiung, Taiwan, 2005,
10. B.Aktan, C.A.Bohus, L.A.Crowl, M.H. Shor, “Distance Learning Applied to Control Engineering Laboratories”, IEEE Transaction on Education, vol. 39, no. 3, pp. 320-326, 1996.
11. Haba C.G, Breniuc, L., “Web-based access to educational prototyping boards used in instrumentation laboratory”, Proceedings of the 2nd On-line Workshop on Tools for Education in Measurement, Tampere University of Technology, pp. 23-28, 2002.
12. Hua J. & Ganz A., “Web Enabled Remote Laboratory (R-Lab) Framework”, In 33rd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Colorado,Section T2C, pp. 5-8, 2003.

13. Gustavsson I., “Remote laboratory experiments in electrical engineering education”, 4th International Caracas Conference on Devices, Circuits and Systems, pp. 1-5, 2002.
14. G. Canfora, P. Daponte, and S. Rapuano. “Remotely accessible laboratory for electronic measurement teaching”, Computer Standards & Interfaces, vol. 26, pp. 489-499, 2004.
15. İbrahim D., Onurhan E., “Uzaktan Mühendislik Eğitiminde Laboratuvar Kullanımı”, EMO I. Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendislikleri Eğitim Sempozyumu (I.EEBM Sempozyumu), Ankara, 2003.
16. Irmak, E., “Uzaktan Erişimli Bir E-Laboratuvar Platformunun Tasarımı”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi (Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University), Cilt 24, No 2, Sayfa 311-322, 2009.
17. Malinowski, A., Dahlstrom, J., Cortez, P. F., Dempsey, G. & Mattus, C., “Web-based remote active presence”, Proceedings of the 2000 ASEE Annual Conference & Exposition, Session 3232, 2000.
18. Aburdene, M. F., Mastascusa, E. J. and Massengale, R. “A proposal for a remotely shared control systems laboratory”, Proceedings of the ASEE 1991 Frontiers in Education Conference, Session 24A3, pp. 589-592, 1991.
19. G. McKee and R. Barson, “Using the Internet to share a robotics laboratory”, International Journal of Engineering Education, vol. 12, pp. 115-122, 1996.
20. Esche, S. K. & Chassapis, C., “An Internet-based remote-access approach to undergraduate laboratory education”, Proceedings of the 1998 Fall Regional Conference of the Middle Atlantic Section of ASEE, pp. 108-113, 1998.
21. Salzman, C., Gillet, D., Latchman, H. A. & Crisalle, O. D., “On-line engineering laboratories: real-time control over the Internet”, Proceedings of the 1999 ASEE Annual Conference & Exposition, Session 2532, 1999.
22. Chen, C. & Crotty, J., “Remote Control of Microcontrollers with A Telephone”, Proceedings of the 2000 ASEE Annual Conference & Exposition, Session 1647, 2000.
23. Fujii N., “A Time-sharing Remote Laboratory for Hardware Design and Experiment with Shared Resources and Service Management”, ITHET 6th Annual International Conference, 2005, Session T2B, pp. 5-10.
24. “Çizgi TAGEM”, e-Lab FPGA, <http://www.cizgi-tagem.org/e-lab/> (son erişim tarihi: 01.11.2010).
25. Paralı, L., Taşkın, S., Pınar, A. M., “FPGA Donanımı ile Görsel Tabanlı Ölçme Sistemi”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), Karabük, 2009.
26. “XILINX”, <http://www.xilinx.com/company/history.htm> (son erişim tarihi: 01.11.2010).

27. Nouel, P. Kadionik, P. Gressier, P. Dufrene, Lemasson S., "MEDICIS: A New Tool for Remote Programmable FPGA Circuit Testing", Proceedings of the 17th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, pp. 327-329, 2000.
28. Izurni, H., Murakoshi, H., Mori, H., Sakamaki, K., Hatano, Y., Shirai, T., Murayama, S., Ugajin, T., "Proposal of the web-based training system for the experiment of the digital circuit", Industrial Electronics Society (IECON '01), The 27th Annual Conference of the IEEE., pp. 1766-1770, 2001.
29. McCracken S., Zilic Z. and Chan H. Y. H., "Real Laboratories for Distance Education", Journal of Computing and Information Technology, vol. 11, pp. 67-76, 2003.
30. Pastor, J.S., Gonzalez, I., Lopez, J., Gomez-Arribas, F., Martinez, J., "A remote laboratory for debugging FPGA-based microprocessor prototypes," Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'04), pp. 86-90, 2004.
31. Rusten, J. & Kolberg, S., "Online FPGA laboratory for interactive digital design", International Conference on Engineering Education (ICEE'04), Gainesville, Florida, 2004.
32. Fujii, N. & Koike, N., "A Time-sharing Remote Laboratory for Hardware Design and Experiment with Shared Resources and Service Management", ITHET 6th Annual International Conference, Session T2B, pp. 5-10, 2005.
33. Hashemian, R., and Pedapati, C., "Blackboard-Based Digital Hardware Design Using FPGAs", American Society for Engineering Education, IL/IN Sectional Conference, Session B-T3-4, 2005.
34. Proske, M. & Trodhandl, C., "Anytime, Everywhere - Approaches to Distance Labs in Embedded Systems Education", Information and Communication Technologies (ICTTA '06), pp. 589-594, 2006.
35. Fujii, N. & Koike, N., "New Virtual Remote Laboratory Environments for Logic Circuit Design Realizing an efficient sharing of Test Equipments and Concurrent User Support", International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (7th ITHET'06), pp. 517-522, 2006.
36. Hashemian, R. & Riddley, J., "A method to design, construct and test digital hardware all in classroom environment", Frontiers In Education Conference - Global Engineering (37th FIE'07), pp. T3G-1 - T3G-6, 2007.
37. Datta, K. & Sass, R., "RBoot: Software Infrastructure for a Remote FPGA Laboratory", 15th Annual IEEE Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM'07), pp. 343-344, 2007.
38. Persiano G.V., Rapuano S., F. Zoino, A. Morganella, G. Chiusolo. "Distance Learning in Digital Electronics: Laboratory Practice on FPGA", Proceeding of the Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC'07), pp. 1-6, 2007.
39. El Medany, W.M., "FPGA remote laboratory for hardware e-learning courses", International Conference on, 2008.

40. Herrero, A.F., Elguezabal, I., Vallejo, M.L., “A Web-Based Environment Providing Remote Access to FPGA Platforms for Teaching Digital Hardware Design”, IADIS Multi Conference on Computer Science and Information Systems, The Netherlands, 2008.
41. Zhao Hui & Xiao Tie-jun, “An innovative remote experiment system for FPGA-based curriculum”, IEEE International Symposium on IT in Medicine and Education (ITME'08), pp. 870-875, 2008.
42. Drutarovský, M., Šaliga, J., Michaeli, L., Hroncová, I., “Remote Laboratory for FPGA Based Reconfigurable Systems Testing”, XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology, 2009.
43. Drutarovský, M., Šaliga, J., Hroncová, I., “Hardware Infrastructure of Remote Laboratory for Experimental Testing of FPGA Based Complex Reconfigurable Systems”, Acta Electrotechnica et Informatica, vol. 9, pp. 44-50, 2009.
44. Daboin C. & Zalewski J. “Lab Station for Remote Measurement and Control in Teaching Real-Time Embedded Systems and Software Engineering”, 30th IFAC Workshop on Real-Time Programming and 4th International Workshop on Real-Time Software, pp. 43-48, 2009.