

Kablosuz Haberleşme Modülüyle Mini Elektronik Kol Kontrolü

Mini Electronic Arm Control via Wireless Communication Module

Melisa Altınsoy¹, Güneş Karabulut Kurt¹

¹Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Elektrik Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi
altinsoym@itu.edu.tr, gkurt@itu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, nesnelerin interneti ve 3 boyutlu yazıcı teknolojileri kullanılarak; kablosuz haberleşme modülü ile servo motorla kurulan mini elektronik kolun uzaktan hareket kontrolü sağlanmıştır. Öncelikle mikrokontrol elemanı, 2 servo motor ve kablosuz haberleşme modülü ile mini elektronik kolun devre tasarımı yapılmıştır. Kolun mekanik parçaları üç boyutlu yazıcı iler üretilip, devreye monte edilmiştir. Mini elektronik kol, mikrokontrol elemanının seri monitörü üzerinden veri aktarımı sağlanmıştır. Kullanıcıların sisteme erişimi ve kontrolü için internet üzerinde bir web arayüzü tasarlanmıştır.

Abstract

In this study, the remote control of a mini electronic arm has been targeted by using a wireless communication module with the contribution of Internet of Things and 3 dimensional printing concepts. Firstly, circuit design has been completed with a microcontroller, 2 servo motors and a wireless communication module. The mechanical parts have been produced by using a 3D printer and assembled with electronic circuit parts. The mini electronic arm is controlled through the serial monitor of the microcontroller. A user interface has been designed and the motion control of the mini electronic arm has been made possible over the Internet.

1. Giriş

İnternet ve elektronik alanlarındaki devrimler, 20. yüzyıl toplumunun hayatını tamamen değiştirmiştir. Bilişim teknolojisi ve kablosuz haberleşmenin de gelişimiyle, bireylerin bilgiye erişme yöntemi ve erişilen bilgi miktarı boyut atlamıştır [1]. Fiziksel ve biyolojik sistemlerin, mühendislik ve bilişimle bir araya geldiği yeni bir disiplin olan Siber Fiziksel Sistemler (Cyber Physical Systems - CPSs) ile fiziksel cihazlar birer bilgi kaynağına dönüşmüş, nesnelerin bilgi üretmesi mümkün hale gelmiştir [1], [2].

Bunun yanında; Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT); internet bağlantısı sağlayan gömülü sistemler ile nesnelerin birbirleriyle etkileşimini ve bilgi aktarımını sağlayan yeni bir gelişmedir [3]. IoT ile siber nitelik kazanmış tüm cihazların bilgi alışverişinde bulunması, anlık haberleşmesi kablosuz sensör ağları (Wireless Sensor Networks - WSNs) sayesinde gerçekleştirilmiştir. IoT ile

cihazların akıllılaşmasının yanında, kontrolü ve insanlarla etkileşimi de mümkün hale gelmiştir [4]. Dünyanın herhangi bir yerindeki veriyi bir haberleşme modülü/sensör üzerinden almak istenildiğinde, WSNs ile ağ entegrasyonunu sağlayabilmek için TCP/IP overlay gibi çözümleri kullanılması gerekir [5].

Aynı zamanda Web 2.0 teknolojisi ve IoT entegrasyonu CPSs alanının gelişiminde kritik öneme sahiptir. Üretim tesislerinin günümüz teknolojilerini arkasına alarak sıçrama yapması için birbirinden farklı servislerin birbirleriyle ortak çalışması (System Oriented Architecture – SOA) yeterli olmayacaktır [6]. Üretim aşamalarını akıllı hale getiren asıl faktörler; siber sistemlerin birbirleriyle web üzerinden haberleşmesi, verilerin bulutta toplanması, sistemlere uzaktan erişimin ve kontrolün mümkün olmasıdır. Bu avantajları sağlayan mevcut ağ entegrasyonlarıyla (TCP gibi) geliştirilebilen Web Tabanlı Mimari (Web Oriented Architecture - WOA)dir. WOA örnekleri, siber fiziksel tüm sistemlerle kullanımı sayesinde karmaşık üretim süreçlerinin esnek, nesneler arası haberleşmeyi ve gerçek zamanlı kontrolü mümkün kılan bir çok avantaj sunmaktadır. Otomasyon sistemleri, IoT ve WOA entegrasyonu sayesinde Endüstri 4.0 (I4.0) yapılması gerçekleştirilmiş, endüstri için yeni bir çağ başlamıştır [6].

Öte yandan, fiziksel yapıların üretimi de 3 Boyutlu Yazıcı teknolojisi sayesinde çok daha kolaylaşmıştır. Bilgisayar destekli tasarım (CAD)'in multidisipliner üretim teknikleriyle birleşmesi uzun üretim zincirlerini ortadan kaldırmış, tasarım çeşitliliği ve erişilebilirliğini artırmıştır [7], [8]. Kolay erişilebilen, tasarım sınırı olmayan fiziksel sistemlerin elektronik kontrol cihazlarıyla birleşimi sayısız kontrol sistemi geliştirmeyi mümkün hale getirmiştir.

Sistemlerin programlanabilir olması, uzaktan haberleşme özelliğinin eklenebilmesi; insanların fiziksel sistemlerle etkileşimini maksimum seviyeye çıkarmıştır. Dijital ürünlere erişilebilirliğin artması ve üretimin 3 boyutlu yazıcılarla (3 dimensional printing – 3D) bu denli kolaylaşması “Kendin Yap” (Do it Yourself) gibi büyük kitlelere yayılan üretim ve teknolojik gelişim akımlarını beraberinde getirmiştir [9].

Bu çalışmada; yukarıdaki teknolojik gelişmelerin yardımıyla, 3 boyutlu yazıcı ile üretilen mekanik kol aksamı, mikrokontrol elemanı sayesinde siber fiziksel bir sistem haline getirilmiştir. Sistemin uzaktan kontrolünü sağlamak

için ESP8266 kablosuz haberleşme modülü ile bir ağ kurulmuştur. Ağ kurulumu için, kablosuz sensör ağlarının TCP/IP protokolünden yararlanılmıştır. Böylece; kurulan ağa bağlanan diğer cihazlar elektronik kol ile haberleşebilecektir. Diğer cihazların elektronik kol üzerindeki kontrolünü kolaylaştırmak amacıyla ESP8266'nın sağladığı IP adresinde bir web arayüzü tasarlanmıştır. Tüm bunların sonucunda, mekanik tasarımından, sistemin haberleşme ağlarına kadar üretim basamaklarının tek bir projede gerçekleştirildiği akıllı bir sistemin meydana getirilebileceği gösterilmiştir. Sistemin hareket seçenekleri, mekanik tasarımın ve yazılan programın kompleksleştirilmesiyle arttırılabilir. Bunun yanında üzerinde çalışılan basamaklar ve tasarım yöntemleri, çok farklı fiziksel sistemlere uygulanabilir.

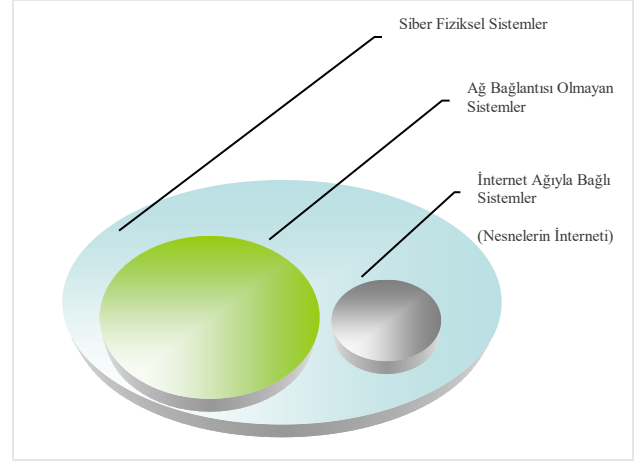
2. Literatür Çalışması

Çalışmanın kapsamını oluşturan CPSs, IoT, 3 boyutlu yazıcı teknolojileri ve bu alanlarda yapılan çalışmalar incelenmiştir.

CPS, fiziksel bileşenlerin bilgisayar teknolojisiyle birleşmesi sonucu oluşur. Kökeni “kontrol becerileri” olan siber (cyber) kelimesinden de anlaşılacağı gibi CPS; sistemlerin kontrol edilebilir, hatta akıllılaştırılabilir olmasını sağlar. CPS'in temelini fiziksel cihazlara entegre edilen gömülü işlemciler ve kontrol teorisi oluşturur [2]. Sensörler ile fiziksel ve dijital sistemlerin etkileşime girmesi, fiziksel sistemlerin değişikliklerini gözlemler ve kontrol edilebilir hale getirmiştir. CPS'in çalışma alanlarından birkaçı; havacılık sistemleri, otomasyon sistemleri, üretim sistemleri, robotik ve biyomedikal sistemlerdir. Bu alanların gelişimi, dijital fabrikalar, akıllı karayolları, akıllı bina ve şehirler, akıllı tarım tesisleri gibi teknolojik gelişmeleri beraberinde getirmiştir [10].

IoT; CPS içinde önemli bir sınıftır. IoT, nesnelerin internet bağlantısı ile birbirine bağlanmasını ve haberleşmelerini sağlar. Bir CPS sistem için bir ağ üzerinden bir başka fiziksel nesneyle haberleşmek önkoşul değildir. Herhangi bir ağ bağlantısı olmayan kontrol sistemi de CPS olabilir. Bu açıdan CPS, IoT teknolojisine sahip sistemleri de kapsar (Şekil 1) [10]. Bunun yanında cihazlara aralarında veri aktarımı sağlayan IoT, CPS'in gelişimde çok büyük rol oynamış bir sınıftır. Cihazların internete erişimi sayesinde anlık görüntüleme, güvenilir takip ve kontrol sağlanmış, sistemlerin verimini arttırmak bu sayede mümkün hale gelmiştir [3]. IoT teknolojisi için cihazlar üzerinde ağ erişimi sağlayan sensörler bulundurulur. WSNs üzerinden, bu sensörler sayesinde, cihazlar komut alıp gönderebilir ve verilerini herhangi bir ortamda toplayabilirler. Bir cihazın diğeri tarafından algılanması ve bilgi alışverişi sağlaması için bu ağa bağlı olması gereklidir [10]. IoT'nin akıllı cihazlar yanında, anlık takip sistemleri, akıllı elektrik şebekeleri, akıllı bina ve otomasyon gibi uygulamaları mevcuttur [3].

WOA, CPS alanını web arayüzüyle buluşturan, esnek ve sistemler arası haberleşmeyi sağlayan bir mimari gelişmedir. Günümüz haberleşme protokolleriyle oluşturulan web arayüzleri üzerinden kontrol ve gerçek zamanlı veri akışı sağlar [6].



Şekil 1. CPS ve IoT ilişkisi

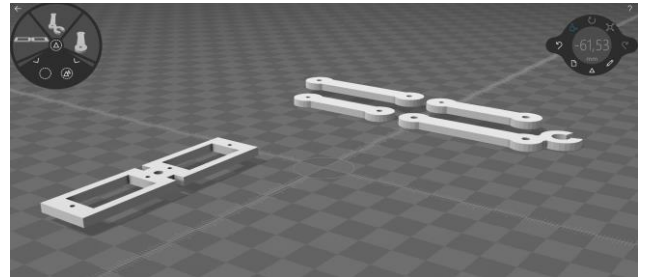
3 boyutlu yazıcılar ise; fiziksel sistemlerin üretimi kısmında yer alır. Bu teknolojiyi bilgisayar tabanlı tasarım (Computer-aided Design - CAD) teknolojisi mümkün kılmıştır. 3 boyutlu baskı teknolojisi günümüzde en hızlı ilerleme gösteren araştırma alanlarından biridir [11]. Bu hızlı ilerleme 3 boyutlu yazıcıların “her şeyi yapabilen makine” olarak isimlendirilmelerine de sebep olmuştur. Materyal bilimi ile birlikte gelişen 3 boyutlu yazıcılarla; yapay organ, bina, mikro ve nano boyutta nesne üretimi, elektronik devre üretimi gibi çok çeşitli alanda çalışmalar gerçekleştirilmiştir [11]. Bu alandaki hızlı büyüme 3 boyutlu yazıcıların ticarileşmesini, kullanımının yaygınlaşmasını ve ekonomikleşmesini sağlamıştır.

3. Sistem Tasarımı

Çalışmada gerçekleştirilen sistem; 3 farklı tasarım aşaması sonucunda elde edilmiştir: mekanik tasarım, devre tasarımı, ağ tasarımı. Üzerinde çalışılan bu 3 temel tasarım süreci ve çıktıları aşağıda açıklanmıştır.

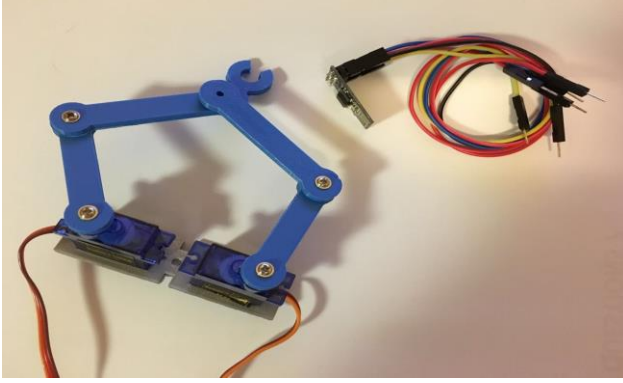
3.1. Mekanik Tasarım

Hedeflenen mekanik tasarımı gerçekleştirilmek için 3 boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılmıştır. 3 boyutlu mekanik aksamın tasarımı bir bilgisayar destekli tasarım programı olan AutoCAD'de yapılmıştır. .stl formatında kaydedilen tüm 3 boyutlu cisim tasarımlarının 3D yazıcılarda bastırılması mümkündür. Şekil 2.'deki mekanik tasarım dosyaları 3D yazıcıya aktarılmış ve basım gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Mekanik aksam CAD çizimleri

Fiziksel üretimin de projenin içine dahil edilebildiğini göstermek amacıyla gerçekleştirilen 3 boyutlu çizimler; servo motorları sabit tutmak için bir tabanlılık, servo motorların 0-180° arasındaki hareketlerini aktarabilecekleri 4 eklemden oluşmuştur. Son eklemin ucundaki tutucuya takılan bir kalem ile, kontrol programının geliştirilmesi sayesinde ileride kola yazı yazdırmak da mümkün hale gelebilecektir. Programın yanında mekanik tasarımda gerçek vücut eklemleri taklit edilerek yapılacak çizimler sistemi robotik kola yaklaştıracaktır.



Şekil 3. Mekanik aksam, servo motor ve haberleşme modülü

3.2. Devre Tasarımı

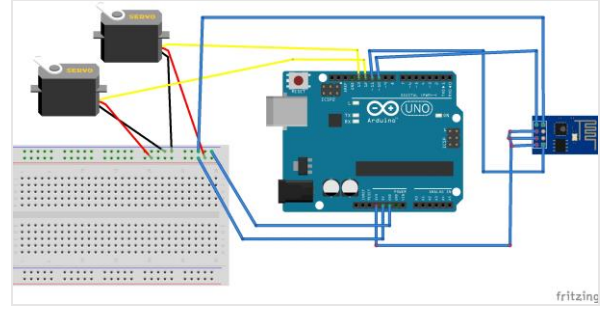
Devrede mekanik kolları hareket ettirecek 2 adet servo motor kullanılmıştır. Servo motor; bir DC motora ek olarak konum, hız, ivme gibi parametlerin kontrol edilmesini sağlayan bir motor sürücü ve kontrol devresinden oluşur.

Motorların hareket kontrolünü sağlamak için bir mikrokontrol cihazı olan Arduino Uno tercih edilmiştir. Arduino; bir mikrodenetleyici (ATMEL), haberleşme sağlayan yan elemanlar ve analog/dijital giriş/çıkış (input/output) pinlerinden oluşur. Bundan sonraki çalışmalarda programlama için Arduino geliştirme ortamı olan Arduino IDE programlama arayüzü kullanılacaktır.

Bunun yanında, servo motorların birleştirildiği kolları bilgisayar üzerinden kablosuz kontrol etmek ve gerçek zamanda veri göndermek hedeflendiği için bir kablosuz haberleşme elemanı olan ESP8266 wifi modülü devreye dahil edilmiştir. ESP8266 hem bir kablosuz ağa bağlanabilme, hem de yeni bir kablosuz ağ kurma özelliklerine sahiptir. Ağ bağlantısı kurabilmek için TCP/IP protokolünü kullanır.

Devre elemanlarını arasındaki bağlantı Şekil.4'te gösterildiği gibidir. Devrenin çalışması için gerekli gerilim 12 V'luk bir güç kaynağından alınmıştır.

Devreye bağlanan 2 servo motor 1 ekseninde 2 yönlü hareketin elde edilmesini sağlamıştır. Çalışmanın ilerisinde motor sayısını artırarak 3 boyutta hareketlere ulaşmak mümkündür. Ancak artan motor sayısını sürebilmek için Arduino'nun gücü yetmeyeceğinden bir motor sürücü devre elemanı sisteme dahil edilebilir.

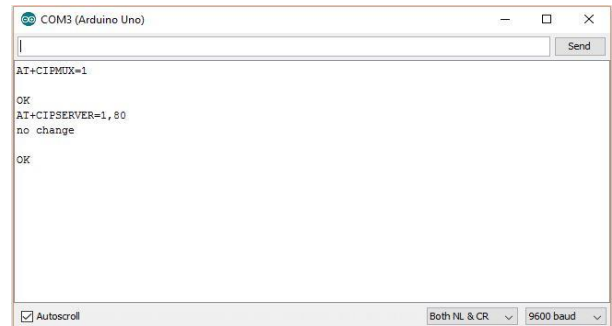


Şekil 4. Devre Tasarımı

3.3. Ağ ve Web Arayüzü Tasarımı

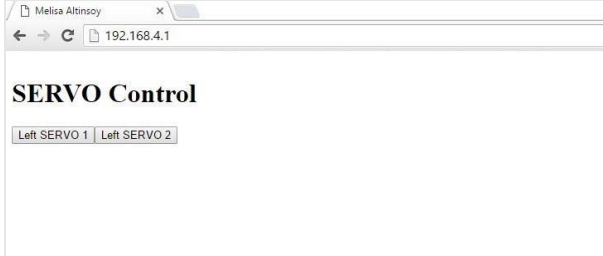
Bir mikrokontrol elemanı olan Arduino'a bağlı sensörlerden veri toplamak ya da Arduino pinleri ile bir sisteme komut yollamak mümkündür. Bu uzaktan kontrol ve veri toplama işlemlerini internet üzerinden yapmak akıllı sistemlerin ve IoT'nin yapılandırılmasının temelini oluşturmaktadır. Fiziksel erişiminin olmadığı bir elektronik yapıyı web üzerinden komutlarla yönetmek, o yapıdan yine web üzerinden çeşitli sensörlerle veriler toplamak mümkündür. Bu gelişme web tabanlı bir mimari yaratarak otomasyon sistemlerinin kontrolünü mümkün kılar. Çalışmanın bu aşamasında sağladığı avantajlar sebebiyle; ağ ve web arayüzü tasarımı yaparken Web Tabanlı Mimari (Web Oriented Architecture) kullanılmıştır. Haberleşme ağı ve kullanıcı arayüzü tasarımı için Arduino IDE geliştirme ortamında C diliyle kodlama yapılarak geliştirilmiştir. Temelde; fiziksel ve elektronik bir sistem olan elektronik kolun uzaktan kontrolü için ESP8266 ile bir ağ kurulmuş ve ESP8266 sayesinde Arduino sunucu (server) haline getirilmiştir.

Kablosuz haberleşme modülü olan ESP8266'nın tasarlanan elektronik kola komut gönderebilmesi için internet ağının kurulması gerekir. Bunun için Arduino'nun seri monitörü bir tür sunucu olarak kullanılacaktır. Arduino'nun sunucu olarak ayarlanması için çoklu bağlantıyı başlatacak "AT komutları" seri monitöre gönderilmiştir (Şekil 5.). AT+CIPMUX=1 çoğul bağlantı izni verirken, AT+CIPSERVER=1,80 komutu ise sunucu kurumu iznini verir. Komutların seri monitörde görüldüğü gibi onaylanması durumunda ağ kurulmuş ve cihazların ulaşılabilir ağ kısmında görünüyorsa gerekir. AT komutlarının seri monitöre işlenmesi için Arduino IDE'de Atcommand isimli bir fonksiyon üretilmiştir.



Şekil 5. Arduino IDE seri monitörü AT komutları

ESP8266'nın oluşturduğu ağa erişim sağlayan herhangi bir cihaz Arduino sunucusuna erişim sağlayıp mini elektronik kolun uzaktan kontrolünü sağlayabilecektir. Bunun için kablosuz modülün sağladığı 192.168.4.1 numaralı IP adresine bir kullanıcı arayüzü tasarlamak için Arduino IDE üzerinden HTML kod yazılarak adresteki sitenin arayüzü oluşturulmuştur. Siteye, elektronik kolların hareket kontrolü için 2 buton eklenmiştir (Şekil 6.).



Şekil 6. Web kontrol arayüzü

Çalışmanın sonunda; bilgisayarla herhangi bir kablo bağı bulunmayan elektronik kol sistemi, 192.168.4.1 IP numaralı web adresine girilerek, sitedeki butonların kullanılmasıyla hareket ettirilmiştir. Daha sonra aynı sistem iki LED lambanın açılıp kapatılma kontrolünü sağlamak üzere uyarlanmış, bu çalışma da başarılı sonuç vermiştir. Tasarım sistemleri başka birçok sisteme hızla uyarlanabileceği gibi, mevcut sistemin yazılımındaki ilerlemeler üretilen mini elektronik kolun yazı yazması, 3 boyutta hareket etmesi gibi birçok gelişim sağlanabilir. Yazılan programın geliştirilmesiyle, ESP8266 ve Arduino sunucusu üzerinden sürekli veri alınabilir, hatta bu veriler bir bulut sisteminde depolanabilir.

Kullanılan bilgisayar dışında, ağa katılan herhangi bir akıllı cihaz da mini robot kolun kontrolünü sağlayabilmektedir. Bu nedenle akıllı telefonlar için web arayüzü yerine bir mobil uygulama arayüzü üzerine de çalışmak geliştirme alternatifleri arasındadır.

Bunun yanında, sistem kontrolünün her bağlanan cihaz tarafından gerçekleştirilmesi istenmiyorsa; program kodlarına güvenlik şifresi talebiyle ilgili bir kod eklenebilir. Aynı zamanda, sunucuya bağlanan cihazı sistemin tanınması ve onaylaması da sağlanabilir.

4. Sonuçlar

Çalışmada yararlanılan teknolojilerin her geçen gün hızla gelişmesi ve yayılması, kullanım arayüzlerinin giderek kolaylaşması birçok fiziksel sistemin insanlar tarafından akıllı hale getirilmesinin önünü açmaktadır. CPS ve IoT sayesinde; tek bilgi kaynağı olmaktan çıkan insanın makineyle etkileşimi gelişmeye katlanarak devam edecektir. CPS ve IoT'nin yol açacağı sınırsız bilgi aktarımı, veri saklama sorununu beraberinde getirecektir. Kontrol komutları göndermenin yanında, sistemleri anlamak için gerçekleştirilecek veri toplama işlemi sebebiyle saklama alanı çözümleri ve verilerin sıkıştırılması yönünde çözümlerin de artması gerekmektedir.

Bununla birlikte birer bilgi kaynağına dönen sistemlerin anlaşılması için toplanan sürekli verinin işlenmesi, sınıflandırılması ve anlamlandırılması üzerine yapılan çalışmalar veri madenciliği (data mining) alanının gelişmesine

sebep olacaktır. Bundan sonraki çalışmalarda bir adım öteye giderek; sensör teknolojisinin büyümesi daha da karmaşıklaşacak olan sistem verilerini anlamak ve doğru karar verebilmek için; alınan veriler ile derin öğrenme (deep learning) çalışmaları yaparak, sistemlere muhakeme yeteneği kazandırmak üzerine çalışılmalıdır.

Bir ağ yaratmak ve fiziksel sistemleri kontrol edebilmek giderek kolaylaşacağı için siber güvenlik sorunları artacak, fiziksel sistemlere izinsiz erişim ve kontrol gibi suçların önlenmesi amacıyla bilişim güvenliği; teknolojik ve hukuki olarak üzerinde çok daha fazla çalışılan bir alan haline gelecektir. Siber güvenlik alanında sistemlerin açıklarının kapatılması üzerine çalışmalar geliştirilmelidir.

5. Kaynaklar

- [1] Rho, S., Vasilakos, A. V., & Chen, W. (2016). Cyber physical systems technologies and applications. *Future Generation Computer Systems*, 56, 436-437. doi:10.1016/j.future.2015.10.019
- [2] Suh, S. C., Tanik, U. J., Carbone, J. N., Eroglu, A., & SpringerLink (Online service). (2014). *Applied cyber-physical systems*. New York, NY: Springer New York.
- [3] Mukhopadhyay, S. C., & SpringerLink (Online service). (2014). *Internet of things: Challenges and opportunities*(1;2014; ed.). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-04223-7
- [4] Luong, N., Hoang, D., Wang, P., Niyato, D., Kim, D., & Han, Z. (2016). Data collection and wireless communication in internet of things (IoT) using economic analysis and pricing models: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 1-1. doi:10.1109/COMST.2016.2582841
- [5] Roman, R., & Lopez, J. (2009). Integrating wireless sensor networks and the internet: A security analysis. *Internet Research*, 19(2), 246-259. doi:10.1108/10662240910952373
- [6] Langmann, R., & Meyer, L. (2013). Architecture of a web-oriented automation system. Paper presented at the 1-8. doi:10.1109/ETFA.2013.6648011
- [7] Zhang, J., & Yu, Z. (2016). Overview of 3D printing technologies for reverse engineering product design. *Automatic Control and Computer Sciences*, 50(2), 91-97. doi: 10.3103/S0146411616020073
- [8] Petrick, I. J., & Simpson, T. W. (2013). 3D printing disrupts manufacturing. *Research Technology Management*, 56(6), 12-16. doi:10.5437/08956308X5606193
- [9] Mellis, D. A. (2014). Do-it-yourself fabrication of electronic devices. *IEEE Pervasive Computing*, 13(3), 22-29. doi:10.1109/MPRV.2014.45
- [10] Stojmenovic, I. (2014). Machine-to-machine communications with in-network data aggregation, processing, and actuation for large-scale cyber-physical systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(2), 122-128. doi:10.1109/JIOT.2014.2311693
- [11] Lipson, H., Kurman, M., & Books24x7, I. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing* (1. Aufl.;1; ed.). Indianapolis, Indiana: John Wiley & Sons.