

NESNELERİN İNTERNETİ UYUMLU MİKRODENETLEYİCİLER ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

A RESEARCH FOR MICROCONTROLLERS COMPATIBLE TO THE INTERNET OF THINGS

Fatih BAŞÇİFTÇİ¹
Kamil Aykotalp GÜNDÜZ²

¹Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

²Selçuk Üniversitesi Kadınhanı Faik İçil Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Teknolojileri Bölümü

basciftci@selcuk.edu.tr

aykotalp@selcuk.edu.tr

ÖZET

Endüstri 4.0 çağının içinde Nesnelerin İnterneti (Internet of Things- IoT) kavramı oldukça sık duyulan bir teknoloji olarak yerini almıştır. Gelişen teknolojiler ile birlikte artık kullanılan cihazların ve makinelerin birbirleri ile ve kişilerle bir ağ üzerinden haberleşmesi talep edilen bir durumdur. Bu talebin günümüzde internet üzerinden gerçekleşmesi, anlık veri takibi ve anlık kontrol mekanizmalarını etkin bir şekilde kullanmaya kolaylık sağlayan bir alt yapı sunmaktadır. IoT teknolojisi ile makinalar, algılayıcıları yardımıyla birbirleri ile ve kullanıcılar arasında iletişim sağlamaya başlamışlardır. Bununla birlikte internetin hayatımızın vazgeçilmezi haline gelmesi, bilgisayar, el bilgisayarı veya akıllı telefon gibi sistemlerin yanında bilgisayar sistemleri barındırmayan nesnelerin de internette erişilmesine olanak sunmaları bir ihtiyaç haline gelmiştir. Mikrodenetleyiciler donanımları ve çevre birimlerini yönetmeye olanak sağlayan basit kontrol üniteleridir. Daha önce sadece fiziki bir bilgisayar bağlantısı yardımıyla ve yerel kontrolle iletişim sağlayan mikrodenetleyiciler yerini internet üzerinden kontrol edilebilen ve iletişim sağlanan modellerine doğru evrilmektedir.

Bu çalışmada, mevcut piyasada oldukça farklı model ve teknoloji barındıran mikrodenetleyicilerin IoT teknolojisi ile uyumlu olanları ve IoT projeleri geliştirenlerin fayda sağlayabileceği mikrodenetleyici çeşitleri ve özellikleri araştırılmıştır. IoT projeleri için seçilmesi gereken bir mikrodenetleyicinin temel özellikleri kapsamında karşılaştırma yöntemi kullanılarak bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikrodenetleyici, nesnelerin interneti, teknoloji.

Abstract

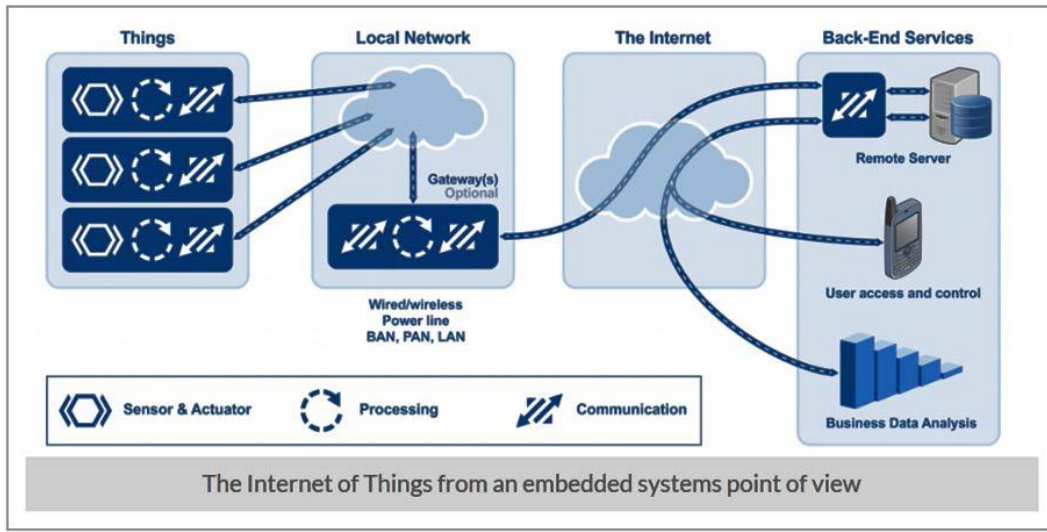
In the era of Industry 4.0, the Internet of Things (IoT) concept has become a frequently heard technology. With the developing technologies, it is desirable that the devices and machines used now communicate with each other and with people over a network. The realization of this demand over the internet today provides an infrastructure that makes it easy to use instant data tracking and instant control mechanisms effectively. With IoT technology, machines started to communicate with each other and between users with the help of sensors. With this, the Internet has become an indispensable part of our lives, as well as systems such as computers, handheld computers or smart phones, it has become a need to provide access to objects that do not contain computer systems from the internet. Microcontrollers are simple controllers that allow you to manage hardware and peripherals. Previously, microcontrollers, which only communicate with the help of a physical computer connection and local control, are evolving into their controllable and communicable models over the internet.

In this study, microcontrollers, which are compatible with IoT technology and microcontrollers that can benefit the developers of IoT projects, are investigated. The basic features of a microcontroller that should be selected for IoT projects are given using the comparison method.

Keywords: Microcontroller, internet of things, technology.

1. GİRİŞ

Nesnelerin İnterneti kavramı yani IoT (Internet of Things) teknolojisi akıllı cihazların birbiriyle iletişime geçmesi, haberleşmesidir (Anonim, 2019a). IoT kavramını açıklayan birçok tanım bulunmaktadır. Ancak kısaca IoT, birbiriyle ilişkili bilgi işlem cihazları, mekanik ve dijital makineler, nesnelere, hayvanlar veya benzersiz tanımlayıcılar (UID'ler) ile sağlanan, insanlara ve insandan ağa gerek duymadan, bir ağ üzerinden veri aktarabilen sistemlerin tümünü ifade eder. Günümüzde IoT küçük ev aletlerinden akıllı çiftliklere ve akıllı şehirlere kadar uzanmaktadır. Ayrıca bu kavramı kabaca; çeşitli haberleşme protokolleri sayesinde birbirleri ile haberleşen ve birbirine bağlanarak, bilgi paylaşarak akıllı bir ağ oluşturmuş cihazlar sistemi olarak da tanımlamak da mümkündür (Yetimler, 2019). Burada oluşan veriler big data yani büyük veri olarak karşımıza çıkmaktadır.



Resim 1. Gömülü IoT sistemi genel görünümü

Etkin IoT projeleri ve çalışmalarının yapılabilmesi için bu teknolojiye uyumlu mikrodenetleyicilere gereksinim duyulmaktadır. Çoğu IoT uygulaması, fiziksel bir nesneye bir sensör eklemekten daha fazlasını gerektirir. İnsanlar 'akıllı nesnelere' hakkında konuştuğunda, genellikle internete bağlı bir mikrodenetleyici (MCU olarak da bilinir) eklenmesinden bahsederken mikrodenetleyiciler herhangi bir fiziksel nesneye veya alana 'akıl' vermek için eklenen küçük bilgisayarlar olarak düşünülebilir. Tek bir entegre devre üzerinde bellek ve programlanabilir giriş / çıkış çevre birimleri ile birlikte bir veya daha fazla bilgisayar işlemcisi içerir.

Bu araştırmada piyasada bulunan mevcut mikrodenetleyiciler arasında IoT projelerinde kullanılması açısından optimum uygunluk tarafları incelenmiştir.

2. Mikrodenetleyici Kavramı

Mikrodenetleyici, herhangi bir çevre birimini veya donanımı yönetmeyi sağlayan basit bilgisayarlardır. Mikrodenetleyiciler programlanarak uzaktan veya direk bağlantı ile makinaları yönetmeye, veri almaya, kontrol etmeye olanak sağlayan, içerisinde bir hafıza birimi, işlemci ve giriş/çıkış birimleri barındıran cihazlardır (Semiz, 2018).

MCU'lar standart bir bilgisayar işlemcisinden daha az kapasiteye sahipken, düşük maliyetleri onları olmayan bir nesneye, alana veya işleme bilgi işlem yetenekleri eklemek için daha pratik bir seçenek haline getirir. Genellikle bilgisayar içermeyen bir depo, köprü veya endüstriyel makine gibi bir nesne olarak tanımlanabilir. Bu gibi durumlarda, internet bağlantılı bir mikrodnetleyici eklemek, standart bilgisayar işlemcilerinin daha yüksek maliyetini ve karmaşıklığını eklemeden bunları geliştirmek için yeterli bilgi işlem gücü sağlar (Califano, 2018).

2.1. Mikrodnetleyicilerin Temel Özellikleri

Hangi mikrodnetleyicinin uygulamayla en iyi şekilde çalışacağını belirleyebilmek için, mikrodnetleyicilerin bazı temel özelliklerini ve ne yaptıklarını bilmek gereklidir. Aşağıda, bir MCU için bir veri sayfasına bakarken bilinmesi gereken bazı özellikler belirtilmiştir:

- Bitler: Mikrodnetleyiciler genellikle sundukları bit sayısına göre satılır. Bu, önemsiz olmayan hesaplamaları gerçekleştirme hızını etkiler.

- RAM: RAM, güç olmadığına verileri tutmayan hızlı erişimli bir bellektir. Tüm MCU'lar, mikrodnetleyicinin çeşitli eylemleri hızlı bir şekilde gerçekleştirmesini sağlayan belirli miktarlarda RAM ile birlikte gelir. Ne kadar büyük kapasiteye sahipse o kadar iyidir, ancak eklenen RAM MCU'nun maliyetini artırır.

- Flaş: Flaş, güç olmadığına verileri tutan bilgisayar belleğidir. Bunların en azından bir kısmı şarttır ve çevrimdışı depolama gibi özellikler için çok kullanışlıdır.

- GPIO: GPIO, genel amaçlı giriş / çıkış pimlerini ifade eder. Bunlar, sensörleri ve aktüatörleri MCU'ya ve internete bağlamak için kullanacağı pimlerdir. Pim sayısı, mikrodnetleyiciye bağlı olarak bir ile yüzlerce arasında değişebilir.

- Bağlantı: Kart (ve uygulama), Wi-Fi, Ethernet veya başka bir yöntemle bir ağa veya internete bu şekilde bağlanır.

- Güç tüketimi: Bağlı cihaz uygulamaları için, özellikle cihazın pil veya güneş enerjisi gibi bir besleme ünitesine güvenmesi gerektiğinde, güç tüketimi çok önemlidir. Bu spesifikasyon, MCU'nun varsayılan olarak ne kadar bir güce ihtiyaç olduğunu ve duyarlı programlama tekniklerini destekleyip desteklemediğini gösterir.

- Geliştirme araçları ve topluluk: Uygulama için seçilen MCU'da çalışacak programlar, geliştirilebilir projeler oluşturmaya yardımcı olacak olgun bir dizi araç, dokümantasyon ve topluluk desteğine sahip olması önemlidir (Özkan, 2018).



Resim 2. Mikrodnetleyici örnekleri

2.2. Mikrodenetleyici İşletim Sistemleri

Mikrodenetleyici, donanımının üstünde çalışan bir işletim sistemine sahiptir. Kişisel bilgisayarlar da Windows gibi bir işletim sistemi çalıştırdığı gibi, MCU'lar da bir işletim sistemi çalıştırılmaktadır.

Bare Metal, aslında hiçbir işletim sistemi olmadığı anlamına gelir. Bu, mikrodenetleyicilerle çalışmanın orijinal yaklaşımıydı ve hala oldukça popüler çünkü uygun maliyetli ve verimli. Bu seçeneğin ana dezavantajı, yazılım geliştiricisi için daha az destek sağlamasıdır.

RTOS, "Gerçek Zamanlı İşletim Sistemi" anlamına gelir. Bir RTOS sistemi, işlemlerin ne zaman tamamlanacağı konusunda kesin garanti sağlar. Bu, fiziksel makinelerin koordinasyonu için kritik öneme sahiptir.

Linux, programlamak ve internete bağlanmak çok daha kolaydır. Ortalama bir insanın bildiği gibi, daha çok "gerçek bir bilgisayar" gibi davranır; Ancak, bu nedenle, herhangi bir zamanlama garantisi sağlamaz.

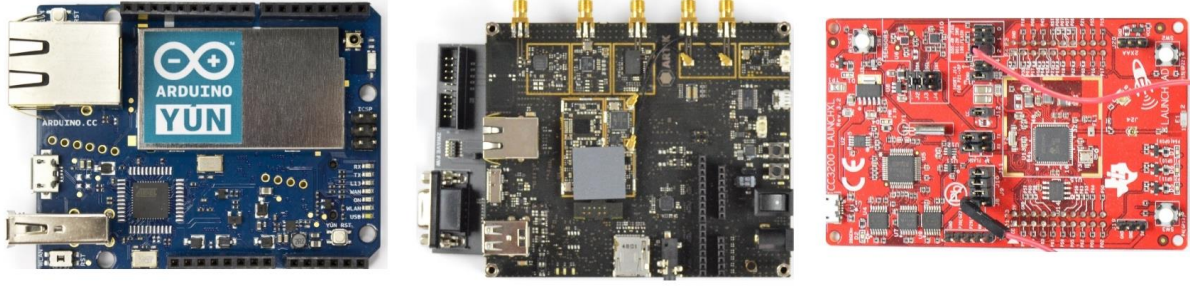
Tablo 1. Mikrodenetleyici işletim sistemleri karşılaştırması

Çıplak metal	RTOS	Linux
Orijinal ve en basit yaklaşım	Giriş / çıkış olayları ile işleme zamanlaması için garanti sağlar	Orijinal bilgisayarlarda UNIX tabanlı popüler açık kaynaklı işletim sistemi
İşletim sistemi yok	Program işletim sisteminde çalışır	Kayda değer ölçüde daha erişilebilir ve programlanması daha kolay
Kod doğrudan bilgisayar bileşenleriyle konuşuyor	Bir görevi askıya alma ve yüksek öncelikli bir görevin yürütülmesini sağlama	Destek konusunda yardımcı olabilecek sağlam insan topluluğu
Sınırlı programlama desteği	Hızlı kurulum, ancak hata ayıklama zaman alıcı	Gerçek zamanlı performans elde etmek daha zor

3. Geliştirme Kartları

MCU'lar en çok "geliştirme kartı" olarak bilinen entegre devre kartları ile birlikte gelir. Geliştirme kartı MCU'yu programlamak için gerekli olan her şeyi sağlar. Bağlı sistemler oluşturmak için mükemmel bir başlangıç noktasıdır. Geliştirme kartları, MCU ve MCU'yu programlamak için gereken destekleyici bileşenleri içeren baskılı devre kartlarıdır. Bir güç kaynağı, sensörleri bağlamak için destek ve hatta bazen yerleşik sensörler ve aktüatörler gibi şeyleri içerir. Özel bir çözümün nihai üretiminden önce prototipleme için yararlıdır ve gömülü sistem geliştirme üzerinde çalışan çeşitli mühendisler için popülerdir.

Geliştirme kartları, kullanıcıların sensörleri ve aktüatörleri hızlı bir şekilde bağlayabilmelerini sağlar ve beraberindeki yazılımlarla kodun oluşturulmasını ve konuşlandırılmasını kolaylaştırır.



Resim 3. Geliştirme kartı örnekleri

4. IoT İçin Mikrodenetleyici Seçme Aşamaları

TI, IBM, Wemos, Samsung, Arduino, Raspberry Pi ve daha fazlası gibi çeşitli şirketlerden birçok farklı geliştirme kartı ve mikrodenetleyici bulunmaktadır. Hangisinin kullanılacak proje için doğru olduğunu seçmek, çalışmanın niteliğine bağlı olarak değişen bir dizi faktöre bağlıdır. Bu faktörler:

Uyumluluk: MCU kullanmak istediğiniz sensörleri ve aktüatörleri destekliyor mu? Sensörlerinize ve aktüatörlerinize bağlı olarak, çok sayıda veya sadece birkaç porta ihtiyacınız olabilir. Yeterli giriş / çıkış bağlantı noktasına sahip olduğunuzdan emin olmak istersiniz.

Mimarlık: Mimari, programınızın karmaşıklığını kaldırabilecek kadar sofistike mi? Çoğu uygulama ARM, MIPS veya X86 kullanır. Birini seçmek uygulamanın fonksiyonel gereksinimlerine ve sistemin ne kadar bilgi işlem gücüne ihtiyaç duyduğuna bağlıdır.

Bellek: MCU program için yeterli bellek - RAM ve Flash - ile geliyor mu? İlerideki güncellemeler için konforlu miktarda ekstra belleğe sahip bir MCU seçmek oldukça önemlidir. Bu uzun vadede zaman, para ve bazı büyük baş ağrılarından tasarruf sağlayacaktır.

Kullanılabilirlik: MCU'yu ihtiyaç olan miktarda kolayca ulaşılabilir mi? Bu, özellikle sistemi daha sonra büyütme planı varsa, işlemin başlangıcında dikkate alınması önemlidir.

Güç: MCU'nun ne kadar güce ihtiyacı olacak? Kablolunması gerekecek mi yoksa pil kullanabilir mi? Endüstriyel IoT uygulamaları için enerji verimliliğinin göz önünde bulundurulması son derece önemlidir.

Maliyet: Her birimin maliyeti nedir? Fiyat sunacağı değere göre anlamlı mı? Yine, daha sonra projeyi büyütme düşünmek istendiğinde kolay olabilecek mi? Seçilen MCU'lardan daha fazlasını içeren bir IoT bütçe desteğine ihtiyaç olunmadığı iyi analiz edilmelidir.

Geliştirme Kiti: Bir geliştirme kiti mevcut mu? Geliştirme kitleri, seçilen MCU ile çalışmaya başlamak için mükemmel bir yoldur çünkü müşterilere kutudan çıktığı gibi bir deneyim sunmak üzere tasarlanmıştır. Bu, IoT uygulamasının geliştirilmesini daha kolay hale getirecektir.

Geliştirme Desteği: MCU için iyi dokümanlar mevcut mu? Bu geliştirici kartını çevreleyen topluluk nasıl? Bu faktörler, MCU'yu doğru bir şekilde ve nasıl kullanılacağına ilişkin bilinçli kararlar

vermek için çok önemlidir. İyi bir çevrimiçi topluluk, uygulama ilgili bir sorunla karşılaşıldığında rehberlik edebilir (Anonim, 2018).

4.1. ESP8266 IoT Mikrodenetleyiciler Modülü

Kablosuz haberleşmenin, özellikle de internetin değeri her geçen an artmakta ve projelerde de büyük bir ihtiyaç haline gelmektedir. Elektronik projelerin büyük bir kısmında Arduino kullanılıyor olsa da, uygulamada internet haberleşmesine ihtiyaç duyulduğunda Arduino'nun Wifi shield'larının maliyetlerini de göz önünde bulundurmak gerekir. Tam da bu sebeple IoT uygulamaları için Arduino ile uyumlu Wifi modülü olan ESP8266 devreye girmektedir (Kırbaş, 2016).



Resim 4. ESP8266 SoC'sini kullanan çeşitli modüller

ESP8266 ile internete veri aktarabilir ve internetten gelen verileri ESP8266 modülüne aktarılabilir. Bu sayede modüle bağlı projede uygulanan anlık tüm bilgileri web ortamında paylaşma şansına sahip olunur. Örneğin ESP8266 modülüne bağlı olan bir robot kolu y ekseninde hareket ettirdiğinde anlık olarak bu hareket bilgisini internete aktarabilir veya internetten geliştirilen bir uygulama ile robot kolun hareketleri anlık olarak kontrol edilebilir. Teknik özelliklerinin dışında ESP8266 modüllerini 15-20TL fiyat aralığında bulmak mümkündür. Günümüzde birçok ESP8266 modülü bulunmaktadır. ESP8266 (ayrıca bir diğer adı ile NodeMCU) ilk piyasaya sürüldüğünde Arduino ile uyumlu bir wifi donanımı olarak pazarlandı. Aslında kullanıcılar da tam olarak pazarlandığı şekilde üründen yararlanıyorlardı. ESP8266 modülü üzerinde 32-Bit CPU bir işlemci ve 2 adet (modeline göre pin sayısı değişmekte) GPIO pin bulunmaktadır. Modül tek başına Lua dili ile programlanabilmektedir. Bu özellikleri sayesinde bir Arduino kartına ihtiyaç duymadan programlanabilir elektronik kart görevi görür ve internete bağlanabilir (Demirtaş, 2017).

Bu modüllerin Lua dilinde programlanabilmesi için NodeMCU platformu geliştirilmiştir. Bunun amacı ESP8266'nın kendi pinlerinden yararlanarak Arduino'dan bağımsız olarak çalışabilmesidir. Lua dili öğrenmesi en kolay programlama dillerinden biridir. Lua dilini de öğrendikten sonra ESP8266 ile nesnelerin interneti projeleri daha kolay geliştirilebilir (Gazi, 2015).

4.2. ESP8266 NodeMCU Cp2102 V2 Geliştirme Kartı

Nodemcu açık kaynak kodlu yazılımlıdır ve geliştirme kartlarıyla IoT projelerini kolayca prototiplemeye lua arayüzüyle yardımcı olur. Uygun fiyatlı ve breadboard uyumludur. Esp8266 tabanlı projeleri kolayca ayarlarını yapıp çalıştırmayı hedefleyen bir geliştirme kartıdır. Bu ürün tek başına kullanılabilir. Ek olarak arduino benzeri geliştirme kartı gerektirmez. Kendi üzerinde anteni bulunmaktadır. Mikro usb ile kolayca bilgisayar bağlantısı sağlanabilir. Cp2102 çipi sayesinde bilgisayara ch340 çipinde olduğu gibi bir sürücü yüklemeye gerek kalmamaktadır (Anonim, 2019d).

Özellikler:

Wi-Fi modülü – ESP-12E modülü (ESP-12 modülüne benzer fakat fazladan 6 gpio pini bulunmaktadır)

USB – mikro usb portu güç, programlama ve derleme için

Pinler – 2x 2.54mm 15-pin bağlantısı GPIOs, SPI, UART, ADC ve güç pinleri için

Misc – Reset ve Flash tuşları

Güç – 5V mikro usb portu üzerinden

Boyutlar – 49 x 24.5 x 13mm



Resim 5. ESP8266 NodeMCU Cp2102 V2

4.3. Wemos D1 Mini Nodemcu Esp8266

Nodemcu esp8266 modelleri arasında en küçük boyutlu olanıdır. Harci bir arduinoya ihtiyaç duymaz. Usb üzerinden programlanabilir. Bu kart ile kablosuz uygulamaları küçük bir kart içerisinde sığdırabilirsiniz (Anonim, 2019e).

Özellikler:

11 adet dijital giriş / çıkış pinleri

Bütün pinleri keser, pwm, IIC, 1 tel destekleniyor (D0 hariç)

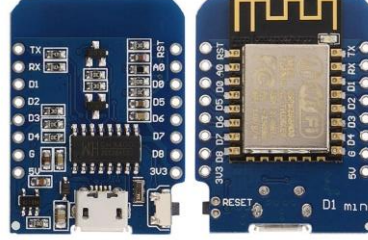
1 adet analog giriş (en yüksek 3.3v giriş voltajı)

Mikro usb portu

Dahili anten

Sıfırla tuşu

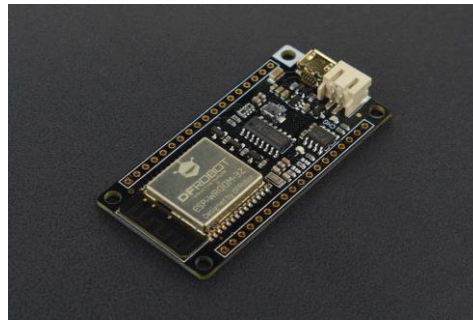
Breadboard uyumlu



Resim 6. Wemos D1 Mini NodeMCU ESP8266

4.4. FireBeetle ESP8266 IOT Mikrodenetleyici

DFRobot FireBeetle serisi, (IoT) projeleri için isteyerek tasarlanmış düşük güç tüketen mikro denetleyicidir. FireBeetle Board - ESP32, MCU ve Wi-Fi ve Bluetooth çift modlu iletişimi destekleyen Çift Çekirdekli ESP-WROOM-32 modülünü entegre eder. Elektrik akımı derin uyku modunda sadece 10 μ A'dır. Ana denetleyici iki güç kaynağı yöntemini destekler: USB ve 3.7V harici lityum pil. Hem USB hem de harici DC, Lipo pili doğrudan şarj edebilir. DTIM10'da WiFi bağlantısını korumak için tam güç tüketiminde 1,2 mW'a ulaşır. 16 MB harici SPI flash bellek ile donatılmış ESP8266, programlar ve çekirdek depolama için kullanılabilir. FireBeetle Board-ESP32, Arduino IDE için özel bir donanım tasarımı yaptı. Manuel olarak önyükleme moduna geçmeden indirme yapabilirsiniz. Arduino, IDF (linux), micropython vb. Destekler. Ayrıca FireBeetle, Arduino IDE için bir pin haritalama yaptı. Arduino UNO ile uyumlu Dx transport ile yapılandırılabilir ve giriş bariyerini azaltır. Küçük boyut ve yüksek performans, FireBeetle'in IOT düşük enerji tüketimi projeleri için fikri çözüm haline getirir (Anonim, 2019b).



Resim 7. FireBeetle ESP8266 IOT Mikrodenetleyici

4.5. TTGO T-base ESP8266 WiFi Kablosuz Modülü

TTGO T-base ESP8266 WiFi Kablosuz Modülü, 4MB Flash I2C Liman Arduino için MicroPython NodeMCU Uyumlu bir üründür.

WIFI

4 MB flaş

Harici ve PCB anteni

Lityum pil arayüzü, 500mA maksimum şarj akımı

TTGO I2C portu

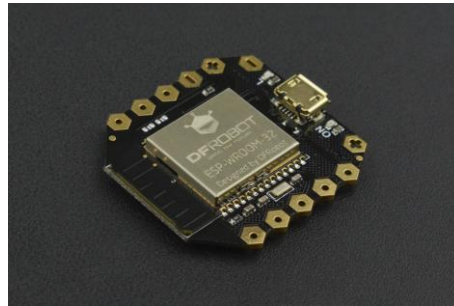
Arduino, MicroPython, NodeMCU ile uyumlu



Resim 8. TTGO T-base ESP8266 WiFi Kablosuz Modülü

4.6. Beetle ESP32 Mikrodenetleyici IOT 5 V Tensilica

Beetle-ESP32 mikrodenetleyici 1.38"× 1.34" küçük boyut, FireBeetle-ESP32 'in basitleştirilmiş bir versiyonudur ve elektronik mühendislik hayranları ve DIY severler için özel olarak tasarlanmıştır. 4 analog bağlantı noktası, 4 dijital bağlantı noktası, UART ve I2C arabirimi ile donatılmıştır, bu da FireBeetle-ESP32 'in mükemmel bir şekilde değiştirilmesi olacaktır. Bu mikrodenetleyici, kullanıcıların yerleşik USB arayüzü üzerinden programları doğrudan yakmalarını sağlar. Bu arada, Bluetooth ve WIFI daha fazla uygulamayı desteklemek için mikrodenetleyiciye entegre edilmiştir (Anonim, 2019c).



Resim 9. Beetle ESP32 Mikrodenetleyici IOT 5 V Tensilica

SONUÇ

Günümüz Endüstri 4.0 teknoloji çağının en önemli gelişme gösteren alanlarından biri olan IoT ve makinalar arası iletişim (M2M) hızla gelişimini sürdürmektedir. İnternet ağına bağlı cihazların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Nesnelerin İnterneti teknolojisi bu gelişim sürecinde, projeler ve yapılan big data çalışmalarında yerini sağlamlaştırmaktadır. Sağlık alanından eğitime, ticaretten endüstriyel

sanayiye, üretimden hayvancılığa kadar tüm sektörlerde yerini almaya başlayan ve hızla büyüyen bu teknolojiyi kullanırken, seçilen mikrodenetleyiciler ve modüllerin IoT uyumunun gözetilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada piyasada bulunan IoT teknolojilerine uyumlu modül ve mikrodenetleyicilerin genel ve teknik özellikleri araştırılmış ve derlenmiştir. IoT uygulamaları ve projeleri yapan bilim insanları ve araştırmacılar için bir kaynak teşkil etmesi amaçlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2018, <https://robocombo.com/wi-fi-ve-iot-urunleri-103>, [Erişim Tarihi 24 Kasım 2019].
- Anonim, 2019a, <https://proente.com/nesnelerin-interneti-nedir/>, [Erişim Tarihi 26 Kasım 2019].
- Anonim, 2019b, <https://www.direnc.net/firebeetle-esp8266-iot-mikrodenetleyici-0478>, [Erişim Tarihi 25 Kasım 2019].
- Anonim, 2019c, <https://www.direnc.net/beetle-esp32-gelistirme-karti>, [Erişim Tarihi 21 Kasım 2019].
- Anonim, 2019d, <https://www.direnc.net/v3-nodemcu-wifi-gelistirme-modulu>, [Erişim Tarihi 20 Kasım 2019].
- Anonim, 2019e, <https://www.f1depo.com/urun/wemos-d1-mini-nodemcu-esp8266>, [Erişim Tarihi 13 Eylül 2019].
- Califano, J., 2018, “How to Choose a Microcontroller for IoT”, <https://dzone.com/articles/how-to-choose-a-microcontroller-for-iot>, [Erişim Tarihi 11 Kasım 2019].
- Demirtaş, M., 2017, “ESP8266 IoT Mikrodenetleyiciler ve Geliştirme Ortamı Kurulumu”, <http://gomuluyazilim.com/esp8266-iot-mikrodenetleyiciler-ve-gelistirme-ortami/>, [Erişim Tarihi 13 Ekim 2019].
- Gazi, A., 2015, “LUA Nedir?”, <http://ayhan-gazi.blogspot.com/2015/01/luca-dersi-1-lua-kurulumu-ve-merhaba.html>, [Erişim Tarihi 13 Kasım 2019].
- Kırbaş, İ., Arslan, K., 2016, “Nesnelerin İnterneti Uygulamaları İçin Algılayıcı/Eyleyici Kablosuz Düğüm İlkörneği Geliştirme”, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Özel Sayı 1: 35-43.
- Özkan, E., 2018, “Mikrodenetleyici Nedir Ne İşe Yarar”, <https://www.muhendisbeyinler.net/mikrodenetleyici-nedir-ne-ise-yarar/>, [Erişim Tarihi 10 Kasım 2019].
- Semiz, T., Y., 2018, “Mikrodenetleyici ve Mikroişlemci Nedir?”, <https://maker.robotistan.com/mikrodenetleyici-mikroislemci/>, [Erişim Tarihi 15 Ekim 2019].
- Yetimler, E., 2019, “Internet of Things (Nesnelerin İnterneti) Nedir? Cihazların Etkileşim Trendleri”, <https://www.karel.com.tr/blog/internet-things-nesnelerin-interneti-nedir-cihazlarin-etkilesim-trendleri>, [Erişim Tarihi 11 Kasım 2019].