



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/makufebed>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 6(2): 74-81 (2015)
The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 6(2): 74-81 (2015)

Araştırma Makalesi / Research Paper

ARM Tabanlı Gömülü Sistemlere Yönelik Açık Kaynak Kodlu Bulut Bilişim Uygulaması: mbed Platformu

İsmail KIRBAŞ^{1*}, Mehmet Erkan YÜKSEL¹

¹Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Burdur

Geliş Tarihi (Received): 19.12.2015, Kabul Tarihi (Accepted): 31.12.2015
✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author)*: ismailkirbas@mehmetakif.edu.tr
☎ +90 248 2132751 📠 +90 248 2132704

ÖZ

Bu çalışmada, öncelikle günlük hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş olan akıllı cihazların içerisinde yaygın olarak kullanılan ARM mikrodenetleyici mimarisi ve tarihsel gelişimi ele alınmıştır. Ardından ARM tabanlı mikrodenetleyici uygulamalarını kullanan tasarımcıların hızlı ilk örnek geliştirme, kod ve kütüphane paylaşımında bulunma, diğer kod geliştiriciler ile irtibat kurabilme gibi amaçlarla kullanabilecekleri ücretsiz ve yenilikçi bir bulut bilişim örneği olarak “mbed platformu” tanıtılmıştır. Son olarak, çalışma bir ARM tabanlı geliştirme kartı (Nucleo-F401RE), kablosuz alıcı-verici ve grafik ekrandan oluşan bir nesnelerin interneti (sıcaklık takip) örnek uygulaması ile tamamlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulut bilişim, gömülü sistem programlama, ARM mimarisi, çevrimiçi derleyici

An Open Source Cloud Computing Application for the ARM Based Embedded Systems: mbed Platform

ABSTRACT

This study primarily comprises the architecture and historical development of ARM microcontroller that is widely used in many smart devices that became inevitable part of our daily life nowadays. Then, “mbed platform”, as a free and innovative example of cloud computing, is introduced. This platform was created for developers who works on ARM based microcontroller applications to realize rapid prototype developing, code and library sharing and communicating to other developers. Finally, the paper presents a sample Internet of Things (temperature monitoring) application that contains an ARM based development card (Nucleo-F401RE), a wireless transmitter and a graphic LCD using mbed platform.

Keywords: Cloud computing, embedded system programming, ARM architecture, online compiler

GİRİŞ

Günümüzde gömülü işlemcilerin kullanıldığı cihazların sayısı ve kullanım alanları giderek artma eğilimi göstermektedir. Mikrodenetleyiciler neredeyse haya-

tımızın her alanında ve kullandığımız her elektronik cihazın içerisinde bulunurlar. Günlük hayatımızın birer parçası haline gelmiş olan otomobil, cep telefonu, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi vb. ürünler gün geçtikçe programlanabilen akıllı cihazlar şekline dönüşmekte ve ya-

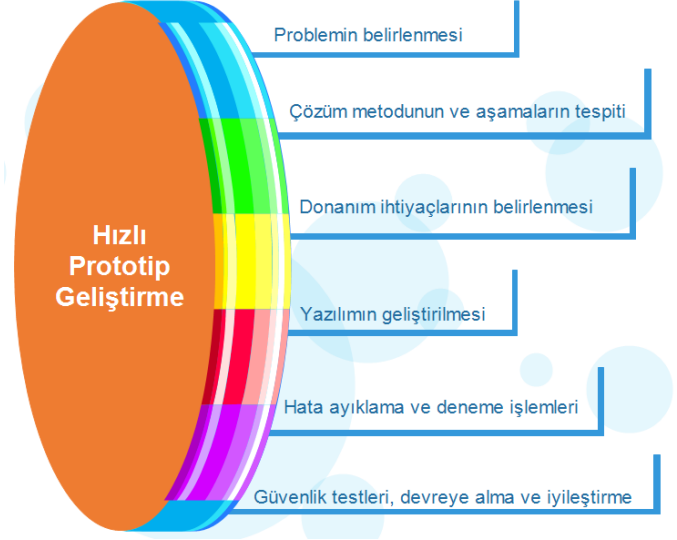
şamlarımızı şekillendirmektedirler.

Mikrodenetleyiciler kullanıldıkları uygulama alanlarına göre algılayıcılar ve eyleyiciler kullanarak gerçek dünya ile sürekli bir haberleşme ve temas halindedirler. Bu durum kullanım potansiyellerinin sıradan bir kişisel bilgisayardan daha fazla olmasını sağlar.

Mikrodenetleyici tabanlı gömülü sistemler, belli bir görevi yerine getirmek amacıyla kullanılan özel amaçlı bilgisayar sistemleri olarak tanımlanabilirler. Yaygın olarak kullanılan kişisel bilgisayarlardan farklı olarak klavye, fare veya monitöre bağlı olma zorunlukları yoktur. Bu tür sistemlerin genel karakteristikleri;

- Bir veya birden fazla uygulama için geliştirilirler,
- Programlanabilen bir üniteye sahiptirler,
- Genellikle güvenliğin önemli olduğu uygulamalarda kullanılırlar,
- Üretim ve programlama maliyetleri düşüktür,
- Buldukları ortam ile sürekli etkileşim halindedirler,
- Genellikle düşük güç tüketim değerlerine sahiptir şeklinde sıralanabilir.

Günümüzde kullanılan üretim teknolojisi genellikle bir modelin çok sayıda üretilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Mevcut cihazlar üzerinde yer alan elektronik denetim mekanizmaları da cihazlarla birlikte sürekli güncellenme ihtiyacı duymaktadırlar. Bu sebeple toplu üretim öncesinde eksiksiz bir ilk örneğin hızlıca üretilmesi ve denenmesi üretim safhası için hayati bir önem taşır. Güncel teknolojiler kullanılarak uygulamaya geçmiş hızlı ilk örnek geliştirme imkânları incelendiğinde üç boyutlu yazıcıların kullanılmaya başlanmasıyla daha önceden günler ve aylarla hesaplanan ilk örnek üretme süreleri saatler ve dakikalar mertebesine inmiştir. Elektronik cihaz tasarımı ele alındığında ise geliştirilecek mikrodenetleyici tabanlı gömülü sistemin çalışır ilk örneğinin de hem donanım hem de yazılım olarak mümkün olan en kısa sürede gerçekleştirilmesi üretim endüstrisinin temel bir ihtiyacı haline gelmiştir (Buchenrieder, 2000). Gömülü sistem geliştirmede kullanılan hızlı prototip geliştirme safhaları Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Gömülü sistemler için hızlı prototip geliştirme aşamaları

Mevcut gömülü sistemlerde kullanılan programlama teknolojisi, genellikle sadece profesyonel geliştiriciler tarafından kullanılmaktadır. “mbed platformu” gibi ARM tabanlı gömülü sistemlerde kullanılmak üzere geliştirilmiş hızlı ilk örnek geliştirme araçlarının ortaya çıkmasıyla gömülü sistem geliştirme maliyeti ve yazılım kurma zorlukları ortadan kalkmış, kod yazma süreci dramatik bir şekilde azalmıştır (Toulson ve Wilmshurst, 2012).

Çalışmamızın ikinci bölümünde ARM mimarisi ve tarihsel gelişimi ile birlikte ARM tabanlı işlemci ailesi hakkında genel bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölüm mbed platformunu ve kullanımını anlatırken, dördüncü bölümde günümüzün en sıcak çalışma konuları arasında gelen nesnelerin interneti kavramı üzerine mbed platformunun avantajlarından yararlanarak dış ortam sıcaklık takibi yapan bir örnek uygulama gerçekleştirilmiştir.

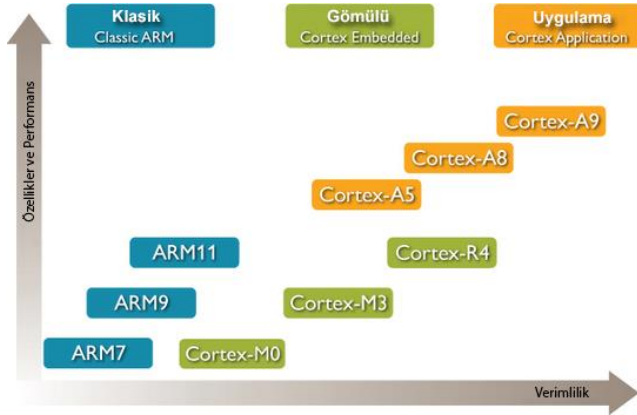
ARM MİMARİSİ VE TARİHSEL GELİŞİMİ

Elektronik cihaz dünyasındaki bu dönüşüm ve yaygınlaşmada büyük pay sahibi olan mikroişlemciler ele alındığında, ARM firması tarafından tasarlanan ve önde gelen yonga üretici firmalar tarafından üretilen ARM (Acorn RISC Machine) tabanlı mikrodenetleyicilerin açık bir üstünlüğü olduğu göze çarpmaktadır. Bugüne kadar ARM teknolojisini kullanan 15 milyardan fazla çip üretimi yapılmış, 200’den fazla firmaya 640 işlemci için lisans satışı gerçekleştirilmiştir (URL-1, 2015).

ARM düşük enerji tüketimi, yüksek hız ve kapasite özellikleri ile yaygın olarak kullanılan 32 bit ve 64 bit işlem yapabilen ve RISC (Reduced Instruction Set Computer) komut yapısına uygun olarak tasarlanmış işlemci mimarisinin genel adıdır. Özellikle düşük güç tüketimi ve yüksek

performans gibi özelliklerinden dolayı cep telefonları, tablet bilgisayarlar, PDA gibi taşınabilir cihazlarda tercih edilirler (Naimi, 2014). ARM mimarisi 1983 yılında yılında Roger Wilson ve Steve Furber liderliğindeki bir ekip tarafından meydana getirilmiş ve 1985 yılında ARM1 adıyla dünyanın ilk RISC işlemcisi duyurulmuştur. Sonraki yıl geliştirilen sürümü de ARM2 olarak adlandırılmıştır. İngiltere çıkışlı olan firma adını önce 1990 yılında Advanced RISC Machine Ltd ve ardından 1998 yılında ARM Ltd olarak değiştirmiştir. ARM firması doğrudan çip üretimi yapmayı 32 bitlik işlemciler tasarlamakta ve bu tasarımlarını Philips, Samsung, ATMEL ve ST gibi yonga üreticilerine satmaktadır.

İlk ARM yazılım geliştirme araçları 1995 yılında geliştirmeye başlanmış ve 1996 yılında ARM işlemcilerinde Windows CE işletim sisteminin kullanılması için Microsoft firması ile ortaklaşa çalışmalar yapılmıştır (URL-2, 2015). ARM mimarisine göre üretilen mikrodeneleyiciler, klasik işlemciler, gömülü sistemlere yönelik işlemciler ve uygulama seviyesinde kullanılan işlemciler olmak üzere üç kategori altında incelenebilir. Şekil 2'de temel ARM mimarileri görülmektedir (URL-3, 2015).



Şekil 2. Temel ARM mimarileri

Klasik ARM işlemciler

Bu grupta ARM7, ARM9 ve ARM11 yer almaktadır. ARM7 serisi daha çok motor kontrolü ve sinyal işleme yönelik uygulamalarda kullanılırken ARM9 ve ARM11 serileri genellikle mobil cihazlarda kullanılmaktadır. Günümüzde klasik ARM çekirdekleri yerlerini daha çok M, R ve A serilerine bırakmıştır.

Gömülü Sistemlere Yönelik ARM İşlemciler

Cortex M ve R serilerinden oluşur ve daha çok matematiksel formüllere dayalı olarak çalışan, düşük güç tüketimi gerektiren, gerçek zamanlı uygulamalarda

tercih edilirler. Cortex R serisi yazıcılarda, modemlerde, kameralarda, sabit disk sürücülerinde, ev tipi elektronik cihazların birçoğunda (mutfak robotları, çamaşır makineleri, buzdolapları, klimalar vs.), otomotiv sektöründe yer alan elektronik cihazların bazılarında, hastanelerdeki tıbbi cihazlarda ve endüstride tercih edilirler (Valvano, 2011). Cortex-M serisi rakip mikrodeneleyici firmalarının ürettiği 8 ile 16 bitlik mikrodeneleyici ailelerine karşı yüksek işlem kapasitesi ve düşük maliyeti ile 32 bitlik işlem yapabilen mikrodeneleyici ailesidir. Günümüzde içerisinde analog dijital çevirici, dijital analog çevirici, zamanlayıcı, kesmeler, haberleşme üniteleri, gerçek zamanlı saat, genel giriş çıkış uçları barındıran M3 serisi yaygın olarak kullanılmaktadır ve M4 serisinin içerisinde de dijital sinyal işleme özelliği eklenmiştir (Valvano, 2012).

Uygulama Seviyesindeki ARM İşlemciler

Akıllı telefon, tablet bilgisayar gibi yüksek performans gerektiren son kullanıcı ürünlerinin birçoğunda uygulamalara yönelik platformlarda kullanılırlar. Günümüzde yaygın olarak kullanılan, son tüketiciye yönelik akıllı elektronik cihazlardan olan Samsung Galaxy Tablet, RIM Playbook, iPhone ve iPad gibi ürünlerde Cortex-A serisi ARM tabanlı mikrodeneleyiciler kullanılmaktadır. Bunların dışında SecurCore olarak adlandırılan işlemci ailesi, güvenliğin ön planda olduğu yüksek güvenli akıllı kart uygulamalarında tercih edilmektedirler. ARM tabanlı uygulamalarda bir alt mimari için üretilen bir yazılım üst mimari tarafından çalıştırılabilirken üst seviye bir mimari ile çalışan yazılımlar önceki mimarilerde çalışmayabilirler. Tablo 1'de ARM mimari sürümleri ve desteklenen çekirdek türleri listelenmiştir.

Tablo 1. ARM mimari sürümleri ve desteklenen çekirdek türleri (van Dam, 2010)

Mimari	İşlemci Grubu
ARM v1	ARM1
ARM v2	ARM2, ARM3
ARM v3	ARM6, ARM7
ARM v4	StrongARM, ARM7TDMI, ARM9TDMI
ARM v5	ARM7EJ, ARM9E, ARM10E, XScale
ARM v6	ARM11, ARM Cortex-M
ARM v7	ARM Cortex-A, ARM Cortex-M, ARM Cortex-R
ARM v8	ARM Cortex-A50

ARM mimarisi ile üretilen yongaların avantajları:

- Düşük maliyet
- Yüksek işlem kapasitesi,
- Geniş hafıza birimi,
- Yüksek girişi-çıkış bağlantı sayısı,
- Çoklu haberleşme protokollü desteği,
- Çoklu çevresel cihaz bağlanma desteği,

şeklinde özetlenebilir.

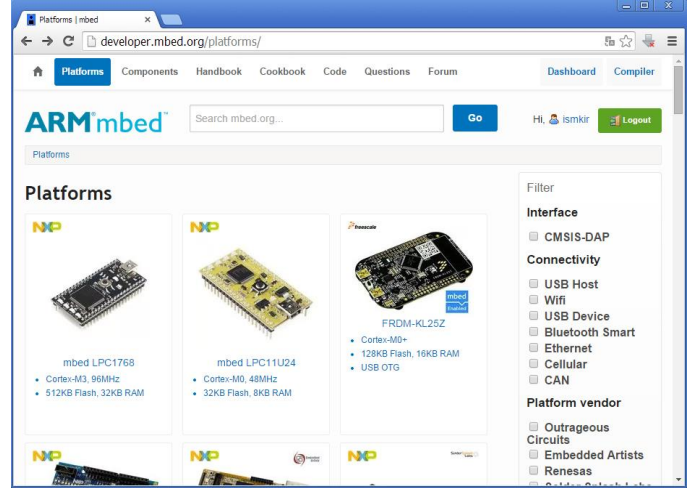
mbed Platformu

Mikrodenetleyici tabanlı bir sistem geliştirmek için öncelikle donanım ihtiyaçlarının tespiti gerekmektedir. Sonrasında kullanılacak mikrodenetleyici firması, denetleyici ailesi, programlama yazılımı, geliştirme kartına karar verilir (Catsoulis, 2005). ARM tabanlı gömülü sistem yazılımı geliştirmek amacıyla IAR Workbench for ARM, Keil for ARM, Sourcery G++, Green Hills Tools for ARM, Windriver, Embest IDE for ARM ve CrossWorks for ARM gibi pek çok lisanslı gerçek zamanlı işletim sistemi vardır. Bunların yanı sıra Ecos, CooCox, FreeRTOS, Vxworks for Windriver, Threadx for Express Logic, uC/OS II, Montavista Linux ve ONX lisanssız olarak kullanılabilir.

Web tabanlı yazılım geliştirme platformlarının kullanımı yeni bir durum değildir ancak üniversitelerde verilen dersler içerisinde gerçek donanımlar üzerinde çalıştırılan uygulamalar için kullanımı oldukça yenidir ve sürekli bir gelişme göstermektedir. Bununla birlikte bulut bilişim kavramı da günümüzün en popüler çalışma ve uygulama geliştirme ortamlarının başında gelmektedir.

Bulut bilişim denildiğinde tüm bilişim kaynaklarının internet üzerinde çevirim içi olarak erişilebildiği bir ortam akla gelmektedir ve genellikle oyun sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar artık kullanmış olduğumuz bilgisayara herhangi bir uygulama hatta işletim sistemi yükleme ihtiyacı duymadan çalışacak olan uygulamaların çalışma hayatında da giderek yaygınlaşacağını göstermektedir. Web tabanlı uygulama geliştirme fikri yeni olmamakla birlikte bulut bilişim kavramıyla birleştirildiğinde daha avantajlı bir yapıya bürünmektedir (Toulson ve Wilmshurst, 2012).

mbed platformu yüksek kapasiteli ve düşük maliyetli çözümler sunan ARM mimarisi kullanılarak daha kolay ve hızlı ürün geliştirilmesini sağlamak için hem üreticilerin hem de geliştiricilerin işlerini kolaylaştırmak amacıyla oluşturulmuştur (Şekil 3). mbed platformu kullanıldığında yukarıda sayılmış olan geliştirme ortamlarına ve işletim sistemlerine gerek kalmamakta tüm çalışmalar herhangi bir yazılım kurulmadan çevrimiçi olarak gerçekleştirilmektedir. Böylelikle yeni bir gömülü sistem programlama anlayışı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3. mbed platformu destekleyen geliştirme kartlarına ait web sayfası görüntüsü (URL-4, 2015)

mbed platformunu pek çok farklı ortak tarafından güçlü bir şekilde desteklenmektedir. Platforma destek veren başlıca üretici firmalar ve bu firmaların geliştirmiş oldukları mbed destekli ürün modelleri Tablo 2'de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 2. Çeşitli üretici firmaların mbed platformu destekleyen geliştirme kartları (URL-4, 2015)

Üretici Firma	Desteklenen Modeller
Philips (NXP)	mbed LPC 1768, mbed LPC11U24, NXP LPC800-MAX, EA LPC4088 QuickStart Board, DipCortex M0, DipCortex M3, BlueBoard-LPC11U24, WiFi DipCortex, Seeeduino-Arch, mbed LPC1114FN28, u-blox C027, EA LPC11U35 QuickStart Board, LPCXpresso 1549, PCXpresso 824-MAX, LPCXpresso 11U68, TGLPC11U35-501, Seeed Xadow M0, Outrageous Circuits mBuino, Switch Science mbed LPC824
Renesans	Renesans GR-PEACH
Nordic	JKSoft Wallbot BLE, Nordic nRF51-Dongle, RedBearLab BLE Nano, Nordic nRF51-DK, RedBearLab nRF51822, mbd HRM1017, Seeed Arch BLE, Nordic NRF51822
Freescale	FRDM-KL46Z, FRDM-K64F, FRDM-KL05Z, FRDM-K20D50M, FRDM-K22F,
ST	Nucleo F103RB, Nucleo F302R8, Nucleo L152RE, Nucleo L053R8, Nucleo F401RE, Nucleo F030R8, Nucleo F072RB, Nucleo F334R8, Nucleo F411RE, Nucleo F091RC,

mbed platformunun öne çıkan kullanım avantajları:

- Hızlı ilk örnek geliştirme,
- Ücretsiz, kod boyutu sınırlaması olmayan, çevirim içi derleyici,
- Ücretsiz program depolama alanı,
- Kişiselleştirilmiş çalışma ortamı,

- Kurulum gerektirmeyen çalışma ortamı,
- İnternet üzerinden tarayıcı üzerinden erişim imkânı,
- Ortak kod kullanımı ve kullanıcılar arası kod paylaşımı,
- Açık kütüphane kullanımı,
- Yüksek seviyeli çevresel API desteği,
- Yazılım versiyonlama sistemi,
- Çoklu çevresel donanım ve çoklu mikrodenetleyici desteği,
- Kullanıcılar arası haberleşme platformu (mbed forum), şeklinde sıralanabilir.

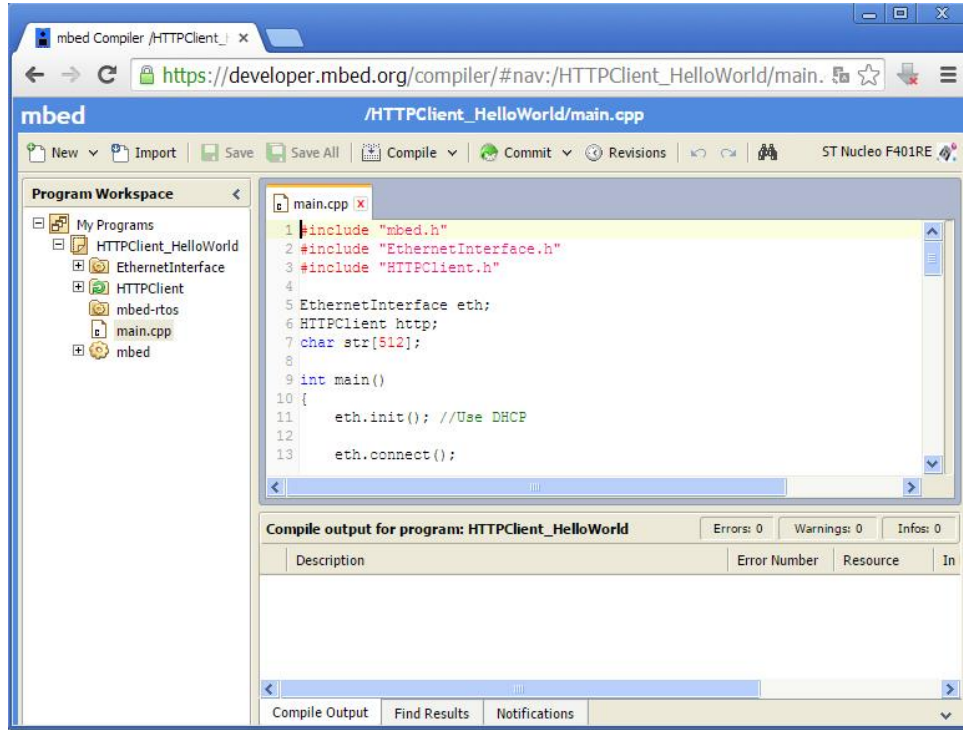
mbed Platform Hesabının Oluşturulması

Öncelikle mbed platformundan yararlanabilmek için "http://developer.mbed.org" adresine girilerek sayfanın sağ üst bölümünde yer alan menüden "Login or signup" düğmesi tıklanır. Açılan sayfadan signup seçeneği tıklanır, ve "No, I haven't created an account before" seçeneği seçilir, açılan formda gerekli alanlar

doldurulur ve e-posta onay aşamasının sonrasında üyelik başlatılmış olur.

Gömülü Sistem Programın Yazılması

mbed.org sitesine giriş yaptıktan sonra sağ üst bölümde yer alan "Compiler" butonu tıkladığında kişisel çalışma alanı ekranı karşımıza çıkar. Öncelikle bu platformda kullanacağımız geliştirme kartını seçerek çevrimiçi derleyiciye kayıt etmemiz gerekmektedir. Bu işlemin ardından açılan ekranın solunda üzerinde çalışmakta olduğumuz uygulamaları ve bu uygulamalara ait dosyaları görebiliriz. Dosyaların üzerinde tıklama yaparak sağ bölümde açılmalarını ve sonrasında düzenlemeler yapmayı sağlayabiliriz. Derleyici ekranın görüntüsü Şekil 4'de verilmiştir. Üzerinde çalışmakta olduğumuz projeye örnek program veya kütüphane eklemek veya çalışma alanımıza dışardan dosya yüklemek amacıyla "Import" butonu kullanılır. Böylece diğer kullanıcıların oluşturmuş olduğu kod ve kütüphaneler üzerinden arama işlemi yapıp istenen dosya ve kütüphaneleri mevcut projeye eklenebilir.



Şekil 4. mbed platformunu çevrimiçi derleyici ekran görüntüsü

Programın Derlenmesi ve Mikrodenetleyiciye Yüklmesi

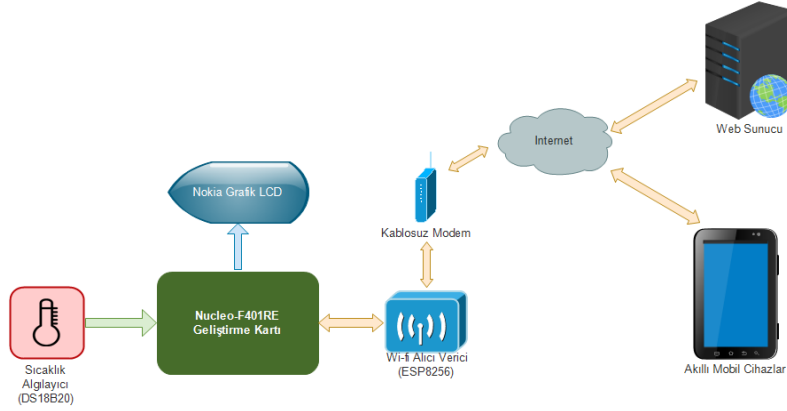
Kodların yazılması aşaması tamamlandıktan sonra derleme işlemi için "Compile" düğmesine tıklanır. Kodlar çevrimiçi derleyici üzerinde derlenir ve herhangi bir

hata meydana gelmemişse USB bağlantısı üzerinden geliştirme kartına yüklenir. Geliştirme kartı üzerinde bulunan "Reset" butonuna bir kez basıldığında yeni uygulama otomatik olarak başlatılmış olur.

Nesnelerin İnterneti Örnek Uygulaması

Örnek uygulama içerisinde ST firması tarafından üretilmiş olan ve mbed platformunu doğrudan destekleyen Nucleo-F401RE geliştirme kartına 84x48 piksellik bir grafik LCD, DS18B20 sıcaklık entegresi ve ESP8256 kablosuz ağ modülü bağlanmıştır. Sıcaklık entegresi üzerinden ortam sıcaklığı dijital olarak 0,1 santigrat derece hassasiyet ile ölçülmekte ve her 15 dakikada bir

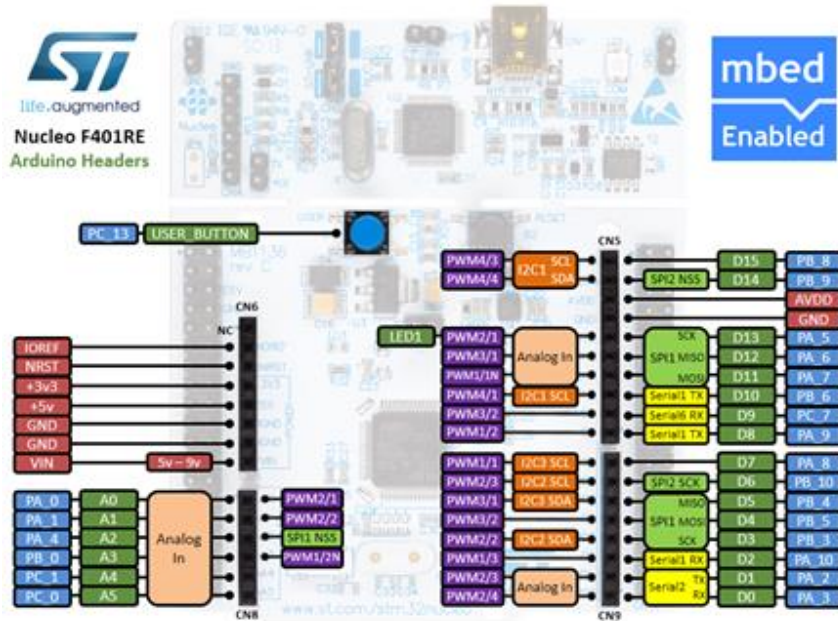
kablosuz ağ modülü üzerinden kablosuz modeme ve internet bağlantısı üzerinden sunucu bilgisayara aktarılmaktadır. Elde edilen anlık veriler ve ölçüm yapılan aya ait ortalama sıcaklık değerleri sunucu üzerinde kayıt altına alınmakta ve istendiğinde sunucu üzerinde tutulan web sayfası üzerinden grafiksel olarak takip edilebilmektedir. Örnek uygulamaya ilişkin genel şema Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5. İnternet üzerinden gerçekleştirilen sıcaklık takip uygulamasına ait genel şema

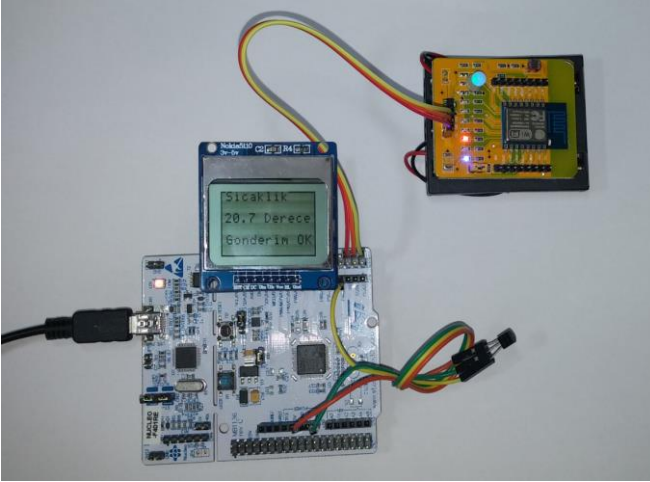
Uygulamada kullanılan geliştirme kartı üzerinde STM32 ailesinden 64 pinli 401RE kodlu ARM denetleyicisi bulunmakta ve 84Mhz frekansında çalışmaktadır. Yonga içerisinde 512 KByte flash hafıza, 10 kanal 12 bit analog dijital çevirici, 10 adet zamanlayıcı yer almaktadır.

Aynı zamanda 3 adet I2C, 3 adet USART ve 4 adet SPI haberleşme kanalı mevcuttur. Geliştirme kartına ait bağlantı noktaları Şekil 6'da verilmiştir (Kurniawan, 2015).



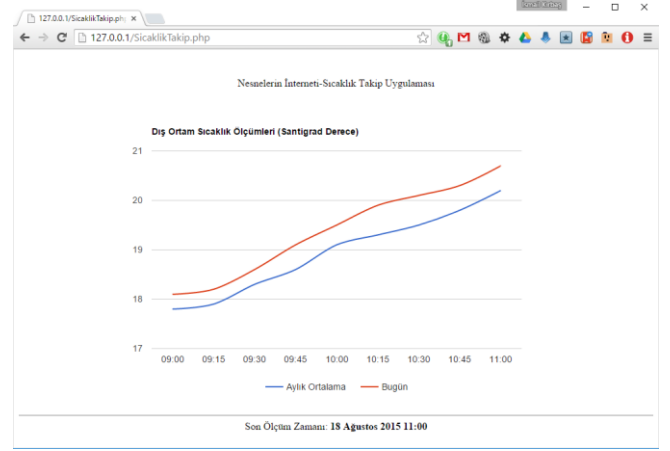
Şekil 6. Nucleo F401RE geliştirme kartına bağlantı noktaları şeması

İşlemci içerisinde 96 bitlik benzersiz bir kimlik numarası bulunur ve USB 2.0 standardına göre tam hızda haberleşmeyi desteklemektedir. Geliştirme kartı üzerinde yer alan USB bağlantısı, besleme geriliminin sağlanmasının yanı sıra depolama birimi olarak kullanım ve hata ayıklama işlemi gibi üç farklı amaç için kullanılmaktadır. Kart üzerinde yer alan bağlantı noktaları yaygın kullanım alanı olan Arduino Uno R3 ile tam uyumludur. Böylece Arduino serisi için geliştirilmiş olan eklentilerin bu kartla birlikte kullanımı sağlanmıştır. Morpho uyumlu bağlantı noktaları kullanılarak da denetleyicinin tüm pinlerine doğrudan erişim sağlanmaktadır. Ayrıca kullanıcı işlemleri için giriş ve çıkış elemanı olarak 4 adet Led ve 2 adet buton bulunur. Geliştirme kartı, mbed platformunun yanı sıra IAR, Keil ve GCC tabanlı tümleşik geliştirme yazılımları ile programlanmayı desteklemektedir. Yazılan deneme programı mbed platformu ve platform içerisinde bulunan Nokia 5110 LCD (URL-5, 1999), DS18B20 (URL-6, 2008) ve ESP8256 (URL-7, 2015) wi-fi kütüphaneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örnek çalışmada kullanılan nesnelerin interneti donanımı Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. Örnek uygulamada kullanılan donanımlara ait fotoğraf

Geliştirilen prototip tarafından yapılan sıcaklık ölçümleri kablosuz ağ bağlantısı üzerinden modeme ve internet bağlantısı üzerinden web sunucusuna aktarılmaktadır. Sıcaklık değerleri anlık ve aylık ortalamalar şeklinde grafiğe dökülmekte böylece internete bağlanabilen cihazlar üzerinden verilerin takibi yapılabilmektedir. Şekil 8'de sunucu üzerinde PHP kodları ile dinamik olarak oluşturulmuş olan web sayfasının ekran görüntüsü verilmektedir.



Şekil 8. Ölçülen sıcaklık verilerinin grafiksel olarak görüntülediği web sayfasına ait ekran görüntüsü

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ARM tabanlı mikrodenetleyici uygulamalarını kullanan tasarımcıların hızlı prototip geliştirme, kod ve kütüphane paylaşımında bulunma, diğer kod geliştiriciler ile irtibat kurabilme gibi amaçlarla kullanılabilecekleri ücretsiz ve yenilikçi bir bulut bilişim örneği olarak mbed platformu ele alınmış ve internet üzerinden hava sıcaklığı takibi yapan bir nesnelerin interneti örnek uygulaması ile tanıtılmaya çalışılmıştır.

Mevcut mbed platformu kullanılarak platforma destek veren bir üretici tarafından üretilmiş bir geliştirme kartı USB bağlantı üzerinden bir bilgisayara bağlandıktan sonra saniyeler içerisinde bir uygulama programı yazılıp derlenir ve cihaza yüklenebilir. Böylece gömülü sistem programlama tecrübesi olmayan bireyler dahi kolayca uygulama geliştirme imkânına kavuşmuş olur. Yapılan çalışma, temel elektronik ve programlama bilgisi olan bireyler için ARM tabanlı bir geliştirme kartı kullanarak hızlıca prototip hazırlanabileceğini ve çeşitli uygulamaların kolaylıkla geliştirilebileceğini göstermektedir.

Kod yazma ve derleme işlemlerinin herhangi bir yazılımın bilgisayar kurulmasına gerek bırakmadan bulut bilişim yaklaşımıyla çevrim içi olarak gerçekleşmesi, platform destekçisi firma ve bireylerin sayısının artmasını ve günümüzün en modern mikrodenetleyici mimarisini temsil eden ARM tabanlı uygulamaların hızla çoğalarak yaygınlaşmasını beraberinde getirecektir.

KAYNAKLAR

- Buchenrieder, K. (2000). Rapid Prototyping of Embedded Hardware/Software Systems, Des. Autom. Embed. Syst. 5: 215–221.
- Catsoulis, J. (2005). Designing Embedded Hardware, O'Reilly

- Media, USA.
- Kurniawan, A. (2015). Getting Started With STM32 Nucleo Development. PE Press, USA.
- Mazidi, M. A., Naimi, S., Naimi, S., Mazidi, J. (2014). ARM Assembly Language Programming & Architecture. Mazidis and Naimis, Pearson Education, USA.
- Toulson, R., Wilmshurst, T. (2012). Fast and Effective Embedded Systems Design: Applying the ARM mbed. Elsevier Science. <https://books.google.com.tr/books?id=a-aWgVmA-x0C>.
- URL-1 (2015). mbed Hello World, Rapid Prototyping for Microcontrollers. https://developer.mbed.org/media/uploads/chris/mbed_hello_world_v2.0.pdf. [Erişim tarihi: 6 Ağustos 2015].
- URL-2 (2015). ARM Community Partners. <http://www.arm.com/community/partners/cores.php> [Erişim tarihi: 6 Ağustos 2015].
- URL-3 (2015). ARM7 Processor Family. <http://www.arm.com/products/processors/classic/arm7> [Erişim tarihi: 6 Ağustos 2015].
- URL-4 (2015). mbed Platformunu Destekleyen Geliştirme Kartları. <https://developer.mbed.org/platforms/> [Erişim tarihi: 6 Ağustos 2015].
- URL-5 (1999). PCD8544 48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver. <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/Monochrome/Nokia5110.pdf> [Erişim tarihi: 6 Ağustos 2015].
- URL-6 (2008). DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet. <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> [Erişim tarihi: 6 Ağustos 2015].
- URL-7 (2015). ESP8266 WiFi Module Quick Start Guide, ESP8266 WiFi Module Quick Start Guide. http://rancidbacon.com/files/kiwicon8/ESP8266_WiFi_Module_Quick_Start_Guide_v_1.0.4.pdf [Erişim tarihi: 6 Ağustos 2015].
- van Dam, B. (2010). Arm Microcontrollers 1. Elektor Verlag, Susteren, The Netherlands.
- Valvano, J. W. (2011). Embedded Systems: Real-Time Interfacing to Arm® Cortex(TM)-M Microcontrollers. CreateSpace Independent Publishing Platform, USA.
- Valvano, J. W. (2012). Embedded Systems: Introduction to Arm® Cortex(TM)-M Microcontrollers. CreateSpace Independent Publishing Platform, USA.
-