

Eskişehir Osmangazi Üniversitesinde DSP Donanım Eğitimi

Rifat Edizkan

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
redizkan@ogu.edu.tr

Özet

Sayısal işaret işleme(DSP) yaygın olarak birçok alanda uygulanmaktadır. Bu nedenle DSP konusunda teorik ve pratik bilgilerle donanmış mühendislere ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda üniversitemizde hem DSP teorisi hem de DSP donanımı üzerinde dersler açılmış ve DSP laboratuvarları kurulmuştur. Üniversiteler DSP altyapısını kendi imkanlarıyla veya DSP üreticisi firmaların destekleriyle kurmaktadır. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'ndeki DSP donanım eğitimi sekiz yıldır verilmektedir. Bölümün DSP altyapısı başlangıç ve ileri seviye çalışmalar yapılabilecek durumdadır. Bölümdeki DSP uygulamaları kontrol, telekomünikasyon ve görüntü işleme konuları üzerindedir. Bu bildiri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'ndeki DSP donanım eğitim hakkında bilgi verilmekte ve öğrencilerin ders başarımları ile ilgili değerlendirme yapılmaktadır.

1. Giriş

Günümüzde sayısal işaret işleme (DSP: Digital Signal Processing) donanımları çok geniş alanda karşımıza çıkmaktadır. Sayısal video, audio, kontrol, telekomünikasyon, güvenlik ve biyometrik güvenlik gibi birçok yerde DSP teknikleri ve donanımları kullanılmaktadır [1]. Elektrik Elektronik Mühendisliği öğrencilerinin meslek yaşamlarında DSP bilgisine ihtiyaç duyacaklardır. Bu nedenle, üniversitelerin DSP teorisi ve donanımı üzerindeki dersler açarak, öğrencilerin DSP eğitimi almaları sağlanmalıdır. Son yıllarda birçok üniversitede ciddi DSP altyapıları kurulmuştur. Bu altyapıların yaygınlaştırılmasında üniversitelerin olduğu kadar DSP üretici firmaların destekleri de katkı sağlamıştır.

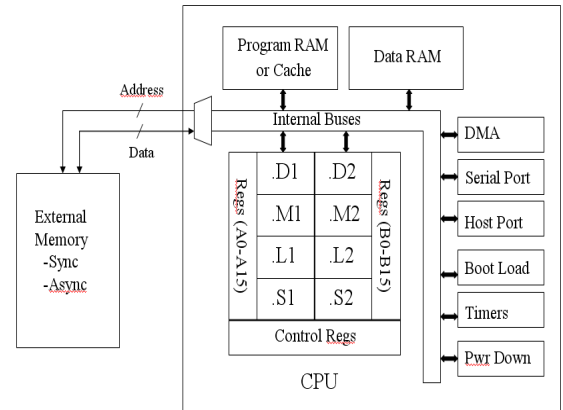
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde DSP Donanımı üzerindeki eğitim 2001 yılında başlamıştır. Başlangıçta üniversite ve özel bir firmanın desteğiyle oluşturulan DSP altyapısı, daha sonra Texas Instruments (TI) firmasının desteğiyle daha da geliştirilmiştir.

Bölüm 2-4'de TI TMS320C6000 DSP işlemcisinin özellikleri ve DSP geliştirme araçları

anlatılmaktadır. Bölüm 5-7'de ise DSP donanım dersinin içeriği, laboratuvar uygulamaları ve yapılan projeler ile ilgili bilgi verilmektedir. Sonuçlar bölümünde DSP donanım dersini alan öğrencilerin başarımları değerlendirilmektedir.

2. TI C6000 DSP Ailesi

TI C6000 DSP ailesi sayısal görüntü ve telekomünikasyon uygulamalarındaki karmaşık DSP algoritmalarının gerçekleştirilebileceği özel işlemci mimarisine sahiptir [2]. Bu DSP ailesi sabit ve kayan noktalı işlemcilerden oluşmaktadır. TI C6000 DSP iç yapısında her biri 16 yazıktan oluşan iki farklı yazmaç kümesi vardır. Bu yazmaç kümelerinin ayrı işlem birimleri bulunmaktadır. Bu şekilde DSP'de paralel işlemlerin yapılabilmesi sağlanmıştır. C6000 ailesi RISC mimarisine sahiptir ve bu mimaride VLIW (Very Large Instruction Word) kullanılmaktadır. VLIW yapısında program adres ve program veri yolu kullanılarak 8 komut alınmakta ve aynı anda işlenebilmektedir. Bu da DSP'nin işlem kapasitesini arttırmaktadır. Örneğin, 150 MHz'de çalışan bir işlemci enyüksek $8 \times 150 = 1200$ MFLOPS işlem değerine çıkabilmektedir. C6000 ailesi EDMA, McBSP, EMIF ve Timer/Counter gibi arayüzler içermektedir (Şekil 1).



Şekil 1: TI C6000 DSP yapısı [2].

3. Code Composer Studio

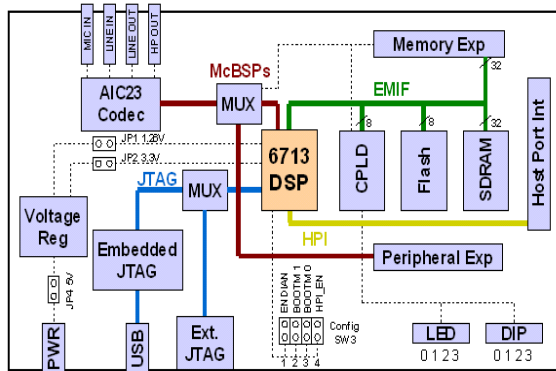
Texas Instruments CCS (*Code Composer Studio*) IDE (*Integrated Development Environment*), yazılım geliştirme ve hata ayıklamada kullanılır. CCS IDE ortamında assembler, compiler ve linker kullanılarak çalıştırılabilir kod üretilmektedir. Bu kod JTAG üzerinden bir yükleyici program yardımıyla DSK'a veya uygulama kartına yüklenebilir. CCS IDE'de, DSP/BIOS GUI (*Graphical User Interface*) kullanılarak, DSP üzerinde gelen arayüzler çok kolay programlanabilmektedir. Ayrıca, DSP/BIOS ile gerçek zamanlı uygulamalar için de görev programlama (*task scheduling*) yapılabilmektedir.

4. DSK

TI TMS320CC6713 DSK (*DSP Starter Kit*) başlangıç seviyesinde DSP uygulama geliştirme kitidir (Şekil 2). Bu kit üzerinde, 225 MHz'de çalışan kayan noktalı C6713 DSP entegresi bulunmaktadır. C6713 DSP ile hem kayan noktalı hem da sabit noktalı işlemler yapılabilmektedir.

Kit üzerinde 16-bit'lik stereo AIC (*Analog Interface Circuit*), 8 Mbyte bellek, 512 Kbyte Boot-ROM flash belleği, kullanıcı LED ve DIP anahtarları vardır. DSK, kişisel bilgisayara USB JTAG emülatörü üzerinden bağlanmaktadır. DSK üzerindeki arayüzler CSL (*Chip Support Library*) ve BSL (*Board Support Library*) API fonksiyonları kullanılarak programlanabilmektedir.

DSK üzerindeki AIC 8-96 kHz arasında örnekleme frekansında çalışabilir. C6713 DSP'nin iki seri port kanalından McBSP0 AIC ile veri iletişimi kullanılmaktadır. Diğer seri port ise SPI arayüzü ile AIC'in programlanmasında kullanılır.



Şekil 2: TMS320C6713 DSK [2].

5. DSP Donanım Dersi

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde DSP donanım dersi 2001-2002 Bahar döneminde açılan "DSP

Processors Fundamentals (2+2)" dersiyle başlamıştır. DSP donanım dersi 2006 yılından itibaren "DSP Systems Design (3+0)" ismiyle açılmaktadır. Dersin laboratuvar uygulaması "DSP Systems Design Laboratory (0+2)" dersinde yapılmaktadır.

2001-02 bahar döneminde açılan ilk derste TI TMS320C5000 sabit noktalı DSP işlemci yapısı ve DSP geliştirme araçları anlatılmıştır. Sabit-noktalı DSP işlemciler az güç harcaması istenilen ve yüksek sayıda üretim yapılan uygulamalarda tercih edilmektedir. Sabit-noktalı DSP'lerde yazılım geliştirmede bir takım zorluklar vardır ve yazılım geliştirme zamanı uzundur. Başlangıç seviyesindeki eğitimde, öğrencilerin yazılımdaki güçlüklerle uğraşmaması için 2002 yılından itibaren TI TMS320C30 kayan-noktalı işlemci donanımı anlatılmaya başlanmıştır. 2004 yılında TI'dan TMS320C6713 DSK desteği alınmış ve 2004-05 öğretim yılından itibaren dersde TI 'C6000 ailesi anlatılmaya başlanmıştır.

DSP donanım dersinde DSP işlemcilerinin genel amaçlı işlemcilere göre farkları, DSP sistem tasarımında ve işlemci seçiminde göz önüne alınması gereken faktörler, sabit ve kayan noktalı işlem aritmetiği, kesirli sayı gösterimleri için Q-formatı, Q-formatında toplama, çıkartma ve çarpma, overflow (taşma) durumunda uygulanacak teknikler, IEEE 754 kayan nokta formatı, C6000 DSP mimarisi, yazılım geliştirme araçları, DSP arayüzlerinin programlanması ve çeşitli DSP yöntemlerinin DSP üzerinde gerçekleştirilmesi anlatılmaktadır.

Derste uygulama geliştirme için C/C++ dili tercih edilmektedir. Bunun yanında öğrencilere doğrusal assembly programlama da gösterilmektedir.

Derste genel donanım bilgisinden sonra, DSP üzerindeki arayüzler, McBSP, EDMA, zamanlayıcı, bootloader ve EMIF ile ilgili bilgilerde verilmekte ve bunları programlanmaları üzerinde durulmaktadır. McBSP kullanarak giriş/çıkış, kesme, EDMA ve zamanlayıcılar ile ilgili uygulamalı örnekler verilmektedir. DSP uygulamalarında filtreleme, FFT (Fast Fourier Transform), uyarlanabilir filtreler, eko yok etme uygulamalarıyla ilgili teorik ve uygulamaya dönük bilgiler verilmektedir [3-5].

DSP donanım derste öğrenciler grup halinde proje yapmaktadırlar. Bu şekilde, öğrenciler değişik DSP uygulamalarını DSK üzerinde geliştirmekte ve yeni pratik bilgiler kazanmaktadırlar.

DSP donanım dersi bahar dönemlerinde Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde de açılmaktadır.

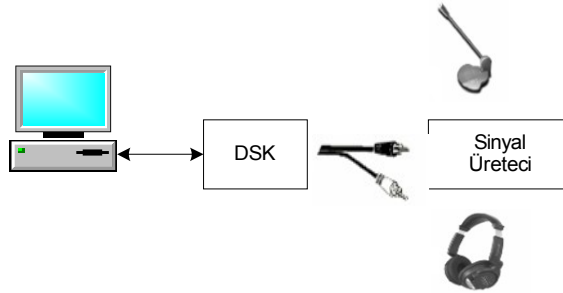
6. DSP Laboratuvarı

Bölümümüz DSP laboratuvarında TMS320C30, TMS320C5402, TMS320C6713 ve TMS320F2812 DSK'lar bulunmaktadır. On adet TMS320C6713 DSK ve iki adet TMS320F2812 DSK TI üniversite desteğinden alınmıştır. TMS320C5402 DSK'lar ise BICOM Inc. (USA) tarafından verilmiştir.

TMS320C5000 ve TMS320C30 DSK'larla yapılan eğitimler, 2004-05 öğretim yılından itibaren TMS320C6713 DSK'lar üzerinde verilmeye başlanmıştır.

Bir DSP laboratuvarında başlangıç seviyesi için her çalışma grubunun kişisel bilgisayar ve DSK'dan oluşması yeterlidir (Şekil 3). İstenirse bu gruplara sinyal üretici, osiloskop ve spektrum analizör eklenebilir. DSP donanım eğitiminde simulatörden de faydalanabilir.

Öğrencilerin, DSP donanımını ve bu donanım üzerinde yazılım gelişme tekniklerini pratik yaparak öğrenmeleri laboratuvar çalışmalarıyla ve ders projeleriyle olmaktadır. Laboratuvar çalışmalarında DSK ve CCS IDE'yi kullanarak sinyal üretme, sayısal filtreleme ve FFT gibi çeşitli deneyler yapılmaktadır. Deneylerde C/C++ dili ve doğrusal assembly dili ile yazılım geliştirilmektedir. Yazılım geliştirirken DSP üzerindeki arayüzlerin programlanmasında CSL, BSL ve DSP BIOS araçları kullanılmaktadır.



Şekil 3: Temel DSP laboratuvar gereçleri.

DSP donanım dersinde öğrenciler grup halinde proje yapmaktadırlar. Derste, sinyal üretici, FFT / Goertzel yöntemiyle DTMF bulucu, ses kodlama, harmonik bozunum analizörü, eko yok edici, Caller-ID, ses kaydı ve geri çalma ve akustik yön takibi gibi konularda projeler verilmektedir.

7. DSP Proje Çalışmaları

Bölümümüzde kontrol, ses ve görüntü işleme ve güç elektroniği konularını içeren bitirme ödevlerinde DSK'lar kullanılmaktadır. Bunun yanında DSK'lar yüksek lisans ve doktora tezlerinde kullanılmaktadır.

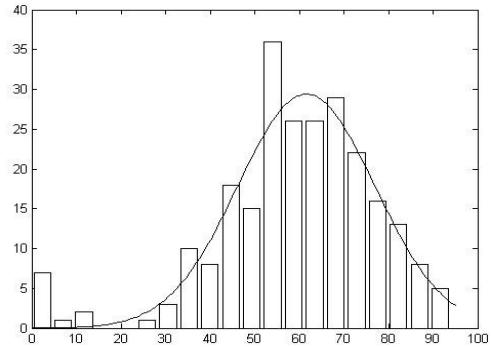
Bölümümüzde BICOM Inc. (USA) ile 2000-02 yılları arasında yapılan ortak çalışmada, C5000 ailesi

üzerinde ses işleme ve telekomünikasyon uygulamaları için yazım geliştirilmiştir. Ses tanıma uygulaması olarak Ortak Vektör Yaklaşımıyla sınırlı sayıda kelime tanıma C6711 DSK üzerinde gerçekleştirilmiştir [6]. KEMSAN(Eskişehir) firmasının desteğiyle C2000 kullanılarak kesintisiz güç kaynağı eviricisi için denetleyici tasarlanmıştır [7]. Bunun yanında, ters sarkaç için tasarlanan bir elektromekanik sistem denetiminde C2812 DSK kullanılmıştır [8]. Ayrıca ETAG (Eskişehir) firmasıyla KOSGEB projesi olarak, C5000 DSP kartları için telekomünikasyon uygulamaları için yazılım geliştirme çalışması yapılmıştır. Şu an bölümümüzde kontrol sistem tasarımı, güç elektroniği, ultrasonik konumlama ve görüntü işleme projelerinde DSP kullanımı içeren uygulamalar üzerinde çalışılmaktadır.

8. Sonuçlar

DSP donanım dersini 2001-2009 yıllarında arasında 247 öğrenci almıştır. Dersi alan öğrencilerden dördü dersten devamsız kalmış; beş öğrenci ise dersten FF almıştır.

Şekil 4'de DSP donanım dersinin sekiz yıl üzerinden geçme notlarının histogramı verilmektedir. DSP donanım dersinde FF sınırı 30 olarak alınmaktadır. Geçme notu histogramına, ortalaması $\mu=61.57$ ve standart sapması $\sigma=21.82$ olan Gauss fonksiyonu uydurulabilir.



Şekil 4: Geçme notu histogramı.

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde DSP donanım dersi kontrol, telekomünikasyon ve güç elektroniği gibi branşlarda eğitim almak isteyen öğrenciler tarafından seçilmektedir.

DSP donanım dersi DSP bilgisi yanında, C/C++ ve assembly programlama bilgisi de istemektedir. Derste, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü öğrencilerinin yazılım geliştirme konusunda zorlandıkları görülmektedir. Bunun da nedeni öğrencilerin ikinci sınıftan sonra yazılım geliştirme üzerinde çalışmamasıdır. Öğrencilerin bilgilerini taze tutabilmek için ders dışında projelerde görev almaları çok önemlidir. Eleman tercihlerinde mesleki

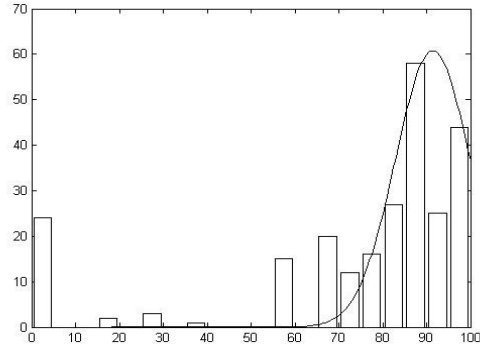
teorik bilgi kadar da tecrübeye bakılmaktadır. Bu nedenle öğrencilerin hem ders hem de ders dışı yaptıkları projeler, iş başvurularında birer referans olacaktır.

DSP donanım dersinin her hangi bir ön koşullu bulunmamaktadır. Bu nedenle dersi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü öğrencileri de alabilmektedir. Bilgisayar Mühendisliği öğrencileri, DSK üzerinde yazılım geliştirmede çok zorluk çekmemektedirler. Fakat bu öğrenciler DSP konusuna yeterli bilgiye sahip olmadıkları için DSP uygulamalarını anlamakta ve bunları DSK üzerinde uygulamakta zorlanmaktadır. Mühendislerin çalışma alanları göz önüne alındığında, bu bölümde de temel DSP bilgisi içeren ders açılma zorunluluğu vardır. Şimdiye kadar DSP donanım dersini alan Bilgisayar Müh. Bölümü öğrencilerinden sadece bir tanesi dersten FF almıştır.

DSP donanım dersinde öğrenciler yaptıkları projeler için rapor hazırlamakta, sunum ve demo yapmaktadırlar. Bu projelerde öğrencilerin, birçok konuyu daha iyi kavradıkları ve öğrendikleri gözlenmiştir. Dersin verildiği yıllar içerisinde birçok proje başarılı olarak tamamlanmıştır. DSP donanım dersin sekiz yıl üzerinden proje not histogramı Şekil 5'de verilmektedir. Dersin proje not ortalaması, proje vermeyen 24 öğrenci çıkarıldığında 83,65'dir. Proje not histogramına da ortalaması $\mu=91.42$ ve standart sapması $\sigma=12.07$ olan Gaussian fonksiyonu uydurulabilir.

Bölümümüzde güç elektroniği uygulamaları, bitirme projesi ve yüksek lisans tezlerinde 2003 yılından bu yana ağırlık kazanmaya başlamıştır. Bölümümüzdeki Kontrol Sistemleri Ana Bilim Dalı'nda çalışan öğretim elemanlarımız kontrol sistemlerinde DSP uygulamalarına çok önem vermektedirler. Bu nedenle, DSP donanım dersi içeriği ileride TI C2000 DSP eğitim verecek şekilde değiştirilebilir veya "Kontrol Sistemlerinde DSP Uygulamaları" adıyla yeni bir ders açılabilir. Bunun yanında, laboratuvar altyapısının da C2000 DSP eğitimi verecek şekilde düzenlenmesi gerekecektir. Bunun için yine Texas Instruments'dan üniversite desteği istenebilir.

Yüksek lisans ve doktora seviyesindeki çalışmalar için laboratuvardaki donanımların yeterli olmadığı durumlarda üniversitenin araştırma fonundan destek sağlanabilmektedir.



Şekil 5: Proje notu histogramı.

9. Kaynaklar

- [1] Texas Instruments DSP web sitesi, Haziran 2009, <http://focus.ti.com/dsp/docs>.
- [2] Texas Instruments C6000 Teaching Materials CD, SSQC012.
- [3] Kehtarnavaz N. ve Simsek B., *C6x-Based Digital Signal Processing*, Prentice Hall, New Jersey, 2000.
- [4] Chassaing R., *Digital Signal Processing and Applications with the C6713 and C6416 DSK*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 2002.
- [5] Tretter S.A., *Communication System Design Using DSP Algorithms with Laboratory Experiments For The TMS320C6701 and TMS320C6711*, Kluwer Academic, New York, 2003.
- [6] Günel S., Edizkan R. ve Barkana A., "Ortak Vektör Yaklaşımı Yöntemiyle Gerçek Zamanlı Kişiden Bağımsız Rakam Tanıyıcı Tasarımı", *IEEE 11. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, 2003, 308-311.
- [7] Elçik E., Edizkan R. ve Tamyürek B., "Tek Fazlı Eviricilerde Tekrarlamalı Kontrol Yöntemi Kullanarak Toplam Harmonik Bozunumun İyileştirilmesi", *12. Elektrik Elektronik Bilgisayar Biyomedikal Mühendisliği*, Ulusal Kongresi, 2007, 45-49.
- [8] Gün A., *Yetersiz Uyarımlı Bir Elektromekanik Sistem Gerçeklenmesi ve Denetimi*, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2007.