

# FPGA

## Giriş

FPGA'ler programlanabilir komponentler(Logic bloklar) ve bağlantılar içeren yarı iletken cihazlardır. Lojic bloklar basit lojik kapıların(AND, XOR) işlemlerini yerine getirmek için programlanabildikleri gibi, daha karmaşık fonksiyonlarında(Şifre çözücüler-decoders, basit matematiksel fonksiyonlar) işlemlerini yerine getirebilmektedirler. Birçok FPGA ayrıca hafıza yapısına sahiptir bunlar basit Flip-Floplar olabileceği gibi daha bütünsel hafıza blokları da olabilmektedir.

Sistem tasarımcısı ihtiyaç duyduğunda logic blokların birbirleri ile bağlantı kurmasını sağlayabilir. Bağlantı hiyerarşisi bu tasarıma izin verir. FPGA'lerin- üretim sonrası herhangi bir mantıksal işlemi yerine getirebilmek için- hem logic kapıları hem de bağlantıları müşteri tarafından programlanabilmektedirler. Bu nedenle isimleri field-programmable(Saha da programlanabilir) dir.

FPGA'ler genellikle benzerleri ASIC'lere(application-specific integrated circuit) göre daha yavaştırılar. Ancak ASIC'ler karmaşık tasarımların üstesinden gelemeler, aynı zamanda da daha fazla güç tüketirler. Bunların yanında ASIC'lerin pazara giriş zamanı düşük (daha kısa geliştirme zamanı), çıkan hataları saha da düzeltebilme ve daha az tekrarlamayan mühendislik maliyeti gibi avantajları vardır. FPGA'lerin daha az esnek olan ve bir kere tasarlandıktan sonra değiştirilemeyen versiyonlarını satıcılar daha ucuza satabilmektedirler. Tasarımlar standart FPGA'ler üzerinde gerçekleştirilip ASIC'lere daha çok benzeyen sabit versiyonlarına aktarılır. FPGA'lerin diğer bir alternatifi de CPLD'ler dir(complex programmable logic devices ).

## Tarihçe

FPGA'lerin tarihsel kökleri 1980'lerin ortasından önceki CPLD'lere dayanmaktadır. Ross Freeman, Xilinx 1984 yılında FPGA'yi birlikte bulmuşlardır. CPLD'ler ve FPGA'ler oldukça fazla sayıda programlanabilir lojik element içermektedirler. CPLD'in lojik kapı sayısı birkaç binlerden on binler düzeyine kadar olabilmektedir. FPGA'ler de ise bu sayı on binlerden milyonlarca ya kadar çıkabilmektedir.

CPLD'ler ile FPGA'ler arasındaki başlıca fark Mimari ile ilgilidir. Bir CPLD oldukça sınırlı bir yapıya sahiptir. Bir ya da daha fazla sum of products lojik dizisi nispeten daha az sayıda zaman yazmacını(clock registerını) beslemektedir. Bunun sonucu daha az esneklik (öngörülebilir zamanlama gecikmesi ve daha yüksek oranda bağlantı oranı avantajı ile birlikte). Diğer taraftan FPGA mimarisi, bağlantı konusunda baskındır. Bu durum FPGA'leri daha esnek (dizayn aralığı açısından uygulaması daha elverişli ) ve daha karmaşık dizaynlara hitap eden bir hale getirmektedir.

CPLD'ler ile FPGA'ler arasındaki dikkate değer bir başka fark, bir çok FPGA üst düzey gömülü fonksiyonlara (toplama, çarpma) ve gömülü hafızalara sahiptir. Bununla ilişkili olan önemli fark, birçok modern FPGA'de bütün ya da kısmi sistem yeniden konfigürasyonu ve anında(on the fly) tasarım değişimi ve system yükseltmesi normal sistem operasyonunun bir parçasıdır. Bazı FPGA'lerde parçalı yeniden konfigürasyon yapılabilmektedir. Bu şekilde sistemin bir parçası yeniden yapılandırılırken diğer kısımları çalışmaya devam etmektedir.

## Çağdaş Geliştirmeler(Modern Developments)

Son zamanlardaki iri taneli(coarse-grained) mimari yaklaşım, geleneksel FPGA'lerin içindeki bağlantıları ve lojik blokları dahili mikroişlemciler ve ilişkili çevresel aygıtlarla birleştirerek hazır bir

forma getirme de (Programlanabilir bir yongadaki sistem-system on a programmable chip) bir adım ileriye götürmüştür. Bu tarz melez örnekler Xilinx Virtex-II PRO ve Virtex-4 cihazlarında bulunabilir. Bu cihazlarda bir ya da birden fazla FPGA lojik yapısı ile yerleştirilmiş PowerPC işlemcileri vardır. Diğer benzeri bir cihaz, Atmel FPSLIC dir. İçerisinde Atmel'in programlanabilir lojik yapısının kombinasyonu bulunan bir AVR işlemci kullanır.

Bir alternatif yaklaşım, FPGA lojiğiyle gerçekleştirilmiş Soft işlemci çekirdeklerini gerçekleştirmek için Hard-macro işlemcileri kullanmaktır.

Önceden bahsedildiği gibi, Birçok modern FPGA run time da tekrar programlanabilmektedir. Bu önde gelen düşünce (Yeniden programlanabilir sistemler) CPU'ların kendilerini yeniden yapılandırmalarına yardım etmektedir. Mitronics firmasına ait Mitrion Virtual Processor FPGA ile gerçekleştirilmiş yeniden yapılandırılabilir soft processor bu sistemlere bir örnektir. Bu örnek run time de dinamik olarak yeniden yapılandırmayı desteklememektedir fakat bunun yerine kendini spesifik bir programa adapte edebilmektedir.

Ek olarak, yeni FPGA olmayan mimariler ortaya çıkmaktadır. Stretch S5000 gibi, yazılımla yapılandırılabilir mikroişlemciler melez bir yaklaşımı benimsemişlerdir. Bu yaklaşım işlemci dizileri ile FPGA benzeri programlanabilir çekirdeklerin aynı entegre üzerinde olmasıdır. Diğer cihazlar (Mathstar's Field Programmable Object Array, FPOA) hafıza dizileri (fifos, queues and ram) , sekiz yönerge, dört birleşik lojik input= iki kol, durum makinesi ve katlı blok. Üstün I/O sağlayıcı SDRAM, LVDS(1), GPIO(2) arayüzleri. Bloklar on x onaltı + dört tag/carry bit port geometrisi ile bağlıdır. Bu tasarımın programlaması zor olabilmektedir. Özellikle limit üstü abonelik data yolları sınırlandırılması(3 N/S and 2 E/W) ve kaydedilmiş MUX indirgemesi bloklar arası iletişimde ve zaman senkronizasyonunda kullanılmıştır. Bu durum bazen çıktı ihtiyaçlarını sağlamak için uygulamanın tamamıyla yeniden tasarımına neden olmaktadır. Geliştirmeci manuel olarak dizayn planını gerçekleştirmek zorundadır. 2006'nın sonrasını itibari ile yönlendirme(routing), zamanlama(timing) ve yerleştirme otomasyonu development araçları tarafından desteklenmemektedir.

(1)Düşük voltaj diferansiye sinyalleme(Low voltage differential signaling)

(2) Genel amaçlı Giriş/Çıkış(General Purpose Input/Output)

## Soft microprocessor

Bir çok Soft microprocessor(3) çekirdeği kapalı ya da açık kaynak kodlu olarak bulunabilir. CPU mimarisinde, gömülü çekirdek(hard core – embedded-) soft core CPU'yu daha iyi yapmaktadır.

(3)Soft microprocessor'ler tamamıyla lojik sentezi ile gerçekleştirilmiş mikroişlemci çekirdekleridir. Programlanabilir lojik içeren farklı yarı iletkenler ile yerine getirilebilmektedir.

Tanınmış Soft microprocessor'ler:

- MicroBlaze

- Nios II

Aşağıda detaysız örnek bir liste görülebilmektedir.

Processor	Developer	Source code	Bus support	Notes	Project home
TSK3000	Altium	Closed, Royalty free	WishBone	32-bit RISC Modified Harvard architecture	Altium TSK3000
TSK51x/52x	Altium	Closed, Royalty free	WishBone/80C51	8-bit 80C51 compatible, outperforms most 80C51 derivatives	TSK51x TSK52x
TSK80	Altium	Closed, Royalty free	Z80 bus	8-bit optimized Z80 instruction set compatible	TSK80
MicroBlaze	Xilinx	available under Xilinx license	Xilinx OPB, FSL, LMB		Xilinx MicroBlaze
PicoBlaze	Xilinx	available under Xilinx license			Xilinx PicoBlaze
Nios, Nios II	Altera	closed			Altera Nios II
Mico32	Lattice	open source			LatticeMico32
OpenFire	Virginia Tech CCM Lab	open source	OPB, FSL	Binary compatible with the MicroBlaze	VT OpenFire
PacoBlaze	Pablo Bleyer	open source		Compatible with the PicoBlaze processors	PacoBlaze

(3) Soft microprocessor'ler tamamıyla lojik sentezi ile gerçekleştirilmiş mikroişlemci çekirdekleridir. Programlanabilir lojik içeren farklı yarı iletkenler ile yerine getirilebilmektedir.

## Uygulamalar(Applications)

FPGA uygulamaları Sayısal sinyal işleme(digital signal processor DSP), Radyo haberleşme sistemi(software-defined radio), uzay(aerospace) , savunma sistemleri (defense systems), ASIC prototiplendirme(ASIC prototyping), medikal resimleme(medical imaging), Robotik(computer vision), ses tanıma(speech recognition), şifreleme(cryptography), Biyoinformatik(bioinformatics), Bilgisayar donanım emülasyon(computer hardware emulation) gibi ve genişleyen diğer alanlarda kullanılmaktadır. FPGA orginal olarak CPLD'lerin rakibi olarak başladı ve benzeri bir alanda mücadele etti. Büyüklükleri, kapasiteleri ve hızları attıkça markette full systems on chips (SOC) yaklaşımı ile daha da fazla yer almaya başladı.

FPGA'ler özellikle her alanda uygulamalar ve paralelizim de kullanılan algoritmaları mimarisinde sunmaktadır. Kriptografi algoritmalarında kod kırma bir hassa brute-force attack(4) ta kullanılmaktadır

FFT(5) ve konvülyasyon işlemlerinin bir mikroişlemci yerine FPGA de gerçekleştirildiği yüksek performanslı hesaplamalarda FPGA'ler artarak kullanılmaktadır.

FPGA'lerin hesaplama işlemlerinde kullanımı "reconfigurable computing" olarak bilinir.

FPGA üzerindeki lojik kaynaklarının özünde olan paralelizim 500MHz'in altındaki clock ratelerinde bile hatırı sayılır ölçüde hesaplama çıktısı verebilmektedir. Örneğin, 2007 generasyon FPGA'ler her bir saat darbesinde aşağı yukarı 100 hassas kayan noktalı üniteyi yerine getirebilmektedirler. FPGA'lerin esnekliği kesinliği azaltan alternatif maliyetiyle daha çok performans ve paralel unit artışına izin vermektedir. Bu yeni işleme yaklaşımı yeniden ayarlanabilir hesaplama(reconfigurable computing ) olarak adlandırılır. Zaman yoğun görevler yerini yazılımlar yerine FPGA'lere bırakmaktadır.

FPGA'lerin yüksek performans hesaplamalarında kabul görmeleri FPGA'lerin dizayn zorluğundan dolayı halen belli bir limittedir. Geleneksel yazılımlarla aşırı derece geriye dönüşlü tasarım araçları karşılaştırıldığında küçük bir değişiklik bile 4-8 saat zaman almaktadır.

(4) Bir şifrelemeyi kırmak için bütün olabilecek senaryoları denemek şeklinde özetlenebilir.

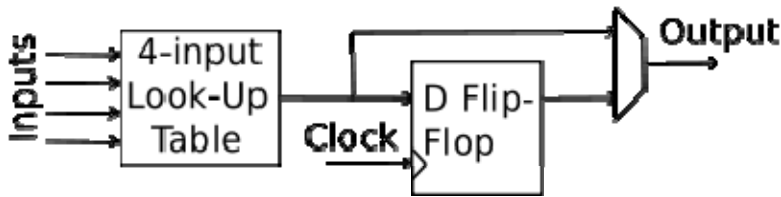
(5) Fast Fourier transform

## Mimari(Architecture)

Tipik temel mimari yapılandırılabilir lojik blok dizisi ve yönlendirme kanallarını içerir. Giriş çıkış noktaları satır ve boyuncadır. Genel olarak, bütün yönlendirme kanalları eşit genişliktedir (tellerin uzunluğu)

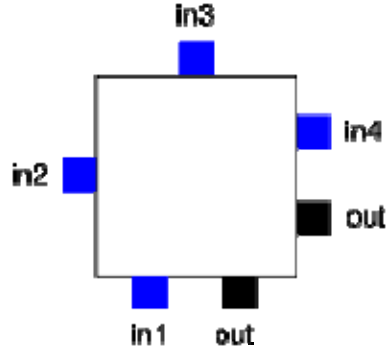
Bir uygulama çevrimi bir FPGA' de gerçekleştirilebilecek şekilde tasarlanmalıdır.

Klasik bir FPGA lojik bloğu aşağıda görülebileceği gibi dört giriş lookup table ve bir flip-flop içerir. Son yıllarda üreticiler altı girişli olan versiyonlarını yüksek performanslı olduğunu iddia ettikleri ürünlerde kullanmaktadır.



Lookup tablosuna kayıtlı ya da kayıtsız tek bir çıkışı vardır. Lojik blok LUT(6) için dört giriş ve bir clock girişine sahiptir. Clock sinyalleri özel bir amaç için ticari FPGAler içindeki atanmış yönlendirme networklerine yönlendirildiklerinden beri, diğer sinyaller ayrı olarak yönetilirler.

Aşağıdaki örnek mimaride FPGA lojik blok pinlerini görülebilmektedir.



Çıkış pinine lojik bloğun sağından ya da altından ulaşılabilirken, her bir input girişine lojik bloğun tek bir kenarından ulaşılabilir.

Her bir output pini kendisine komşu olan kanallardaki wiring segmentlerle(7) bağlantı kurabilir.

Benzer olarak, bir I/O pad kendisine komşu olan kanallardaki herhangi bir wiring segment ile bağlantı kurabilir. Örnek olarak, entegrenin en üstündeki I/O pad hemen altındaki herhangi bir yatay W wire'ı ile bağlantı kurabilir.

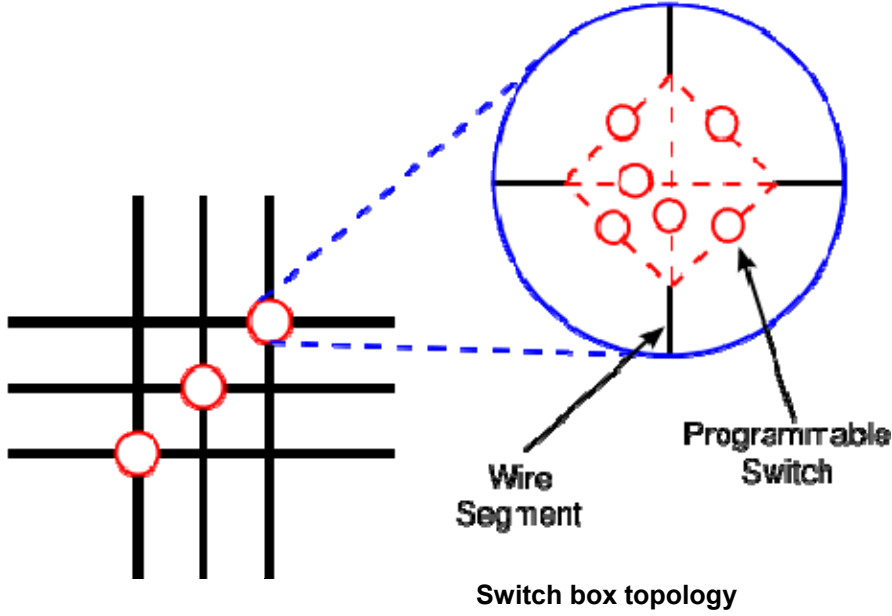
Genellikle, FPGA yönlendirme bölümlenmemiştir. Bu nedenle her wiring segment sonlanmadan önce tek bir lojik blok içerir. Daha hızlı bağlantılar için, bazı FPGA mimarileri daha uzun yönlendirme yollarına sahiptir, bunlar birden fazla lojik blok içerirler.

Yatay ve dikey kanalların keşiştiği yer switch box'tır. Bu mimari de bir taraftan switch box'a giriş yapıldığı zaman, kendisine komşu olan diğer üç tarafa yönlendirilebilmesini sağlayacak üç adet programlanabilir switch vardır. Switchlerin bu mimaride kullandığı bu şablon ya da topoloji düzlemsel ya da domain bazlı mimaridir. Bu switch box topolojisinde, birinci izdeki wire sadece kendisine komşu olan birinci izdeki diğer wirelara; ikinci izde, sadece kendisine komu olan ikinci izdeki diğer wirelara bağlanabilir.

(6) lookup table

(7) Bağlantı parçası

Aşağıdaki resim switch box bağlantılarını resimlemektedir.



Modern FPGA aileri sabitlenmiş üst seviye fonksiyonalları içermek için Silikon içine giydirilerek kapasitelerinin de üstüne çıkmışlardır. Silikon içinde gömülü bu yaygın fonksiyonallara sahip olmak, alan ihtiyacını azaltmış ve ilkel tipleriyle karşılaştırıldığında hız artışı sağlamıştır. Çarpma işlemleri, genel DSP blokları(generic DSP blocks), gömülü işlemciler(embedded processors), yüksek hızlı I/O logic (high speed IO logic) ve gömülü hafızalar(embedded memories).

FPGAler ayrıca geniş ölçüde silikon öncesi validasyonu(pre-silicon validation), silikon sonrası validasyonu( post-silicon validation) ve aygıt yazılımını da içeren sistem validasyonunda kullanılmaktadır. Bu şekilde entegre üreticileri entegre fabrika da üretilmeden önce tasarımlarını tasdik edebilmekte bu da entegrenin pazara sürülme zamanını kısaltmaktadır.

## FPGA tasarım ve Programlama

FPGA'in davranışını tasarlamak için kullanıcı HDL(8) ya da sematik dizayn sağlamalıdır. Yaygın HDL's VHDL ve Verilog tur. EDA(9) kullanılarak netlist(bağlantı listesi) yaratılır. Netlist "place-and-route"(10) yöntemi kullanılarak temel FPGA mimarisine uygun düşmektedir. "place-and-route" FPGA şirketinin ürünü olan yazılımlarla gerçekleştirilmektedir. Kullanıcı planı(map), place - route sonuçları üzerinden zaman analizi, simülasyon ve diğer doğrulama metodolojileri kullanarak onaylayacaktır. Dizayn ve validasyon işlemleri tamamlandıktan sonra binary dosyası yaratılır(yine FPGA şirketinin ürünü olan yazılımlarla) ve bu dosya FPGA'yi yeniden ayarlama amaçlı kullanılır.

- (8) hardware description language
- (9) Electronic design automation
- (10) yerleştirme yolu çiz olarak çevrilebilir.

HDL'lerin assembly language ile karşılaştırıldığında görülen tasarım güçlüklerini azaltmak için tasarım soyutlamayı yükseltmeye yönelik yönelimler vardır. Cadence, Synopsys ve Celoxica gibi

şirketler, geleneksel HDL dilleri yerine SystemC yi FPGAlerin daha hızlı dizayn süreçleri için uyumluluk modelleri ile üst seviye dillerin birleştirilebileceği bir yol olarak desteklemektedirler. Standart C ya da C++ ait olan yaklaşımlar(kütüphaneler ve diğer paralel programlamaya izin veren eklendiler ile birlikte ) Mentor Graphics'e ait olan Catapult C ve Impulse Accelerated Technologies'e ait Impulse C tarafından bulundu. Annapolis Micro Systems, Inc.'in CoreFire Design Suite ve National Instruments LabVIEW FPGA üst seviye girişlerine görsel bir dataflow yaklaşımı sağlamıştır. SystemVerilog, SystemVHDL ve and Handel-C (Celoxica firmasına ait) aynı hedefi başarmaya çalışmış fakat FPGA'leri yazılım mühendisleri için daha ulaşabilir yapmaktansa mevcut donanım mühendislerini daha üretken yapmak amaçlanmıştır. C,HDL ve Flow to HDL ile ilgili daha detaylı bilgiye kendi makalelerinden erişilebilir.

Karmaşık sistemlerin FPGA'lerde tasarlanmasını basitleştirmek için, önceden tanımlı karmaşık fonksiyon ve süreçler test ve optimize edilerek dizayn sürecine hız katılmıştır. Önceden tanımlı süreçler genelde "IP Cores" olarak adlandırılır. "IP Cores" lara FPGA üreticileri ve üçüncü parti IP satıcılarından(nadiren bedava, genelde ticari lisans ile satılır) ulaşılabilir. Diğer önceden tanımlı süreçlere, geliştirici topluluklarında örneğin OpenCores(genelde bedava, GPL/BSP ya da benzeri bir lisans ile yayınlanırlar) ya da diğer kaynaklarda bulunabilir.

Tipik dizayn akışında, FPGA uygulama geliştirici dizaynı birden çok evrelerde baştan sonra simüle edecektir. Sistemi simüle etmek ve sonuçları gözlemek için VHDL ve Verilog'taki tanımları (RTL(11) description ) test sıraları yaratılarak simüle edilir. Ardından, birleştirme motoru ile dizayn netlist'e map edildiğinde, netlist kapı düzeyi tanımlamaya(gate level description) çevrilir. Simülasyon burada tekrarlanarak birleştirmenin hatasız olarak yapıldığı doğrulanır. Son olarak, tasarım FPGA'da hazırlanır. Bu aşamada yayılma ertelenmesi eklenebilir ve simülasyon runı netliste not düşerek tekrar yapılabilir.

(11) Register transfer level

## Temel İşlem Teknoloji Tipleri(Basic process technology types)

- SRAM – statik hafıza teknolojisi üzerine kurulmuştur. Sistem içinde ve yeniden programlanabilir. External bir boot cihazına ihtiyaç duyar. CMOS.
- Antifuse – Bir kere programlanabilir. CMOS.
- EPROM - Erasable Programmable Read-Only Memory technology. Plastik paketlemesinden dolayı genelde tek bir sefer programlanabilir. Pencereci cihazlar ultraviyole (UV) ışığı altında silinebilir. CMOS.
- EEPROM - Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory technology. Plastik paketlerde bile silinebilirler. Bazıları sistem içinde programlanabilirler. CMOS.
- Flash - Flash-erase EPROM technology. Plastik paketlerde bile silinebilirler. Bazıları sistem içinde programlanabilirler. Genellikle EEPROM'lardan küçüklerdir ancak fiyat olarak pahalıdır. CMOS.
- Fuse - Bir kere programlanabilir. Bipolar.

## Üreticiler ve Özellikleri (Manufacturers and their specialties)

2005'in sonlarına doğru pazar iki büyük genel düşünce grubu halini aldı, bunlar FPGA imalatçıları ve bazı biricik yeteneklerle kendini ayıran diğer oyuncular.

- Xilinx and Altera market liderleridir. Xilinx bedava Linux tasarım yazılımı dağıtmaktadır.
- Lattice Semiconductor SRAM and non-volatile, flash-based FPGAs sağlamaktadır.
- Actel antifuse , reprogrammable flash-based FPGAs ve karışık sinyal flash-based FPGAs ürünlerine sahiptir.
- Atmel atomik(ince tanecikli) cihazlar sağlamaktadır, örneğin : Xilinx XC62xx. FPGA ile aynı ömre sahip Atmel AVR mikro denetleyici geliştirmek üzere odaklanmışlardır.
- QuickLogic antifuse (programmable-only-once) ürünlerine sahiptir. Odaklandıkları sektör askeri uygulamalardır.
- Achronix Semiconductor geliştirme de olan oldukça hızlı FPGA'leri vardır, Hızları 2Ghz'e yaklaşmaktadır.
- MathStar FPOA (field programmable object array) isimli FPGA benzeri bir cihaz sunarlar.