



Giriş Çıkış Birimleri (I/O)

- Dr. Cengiz Güngör

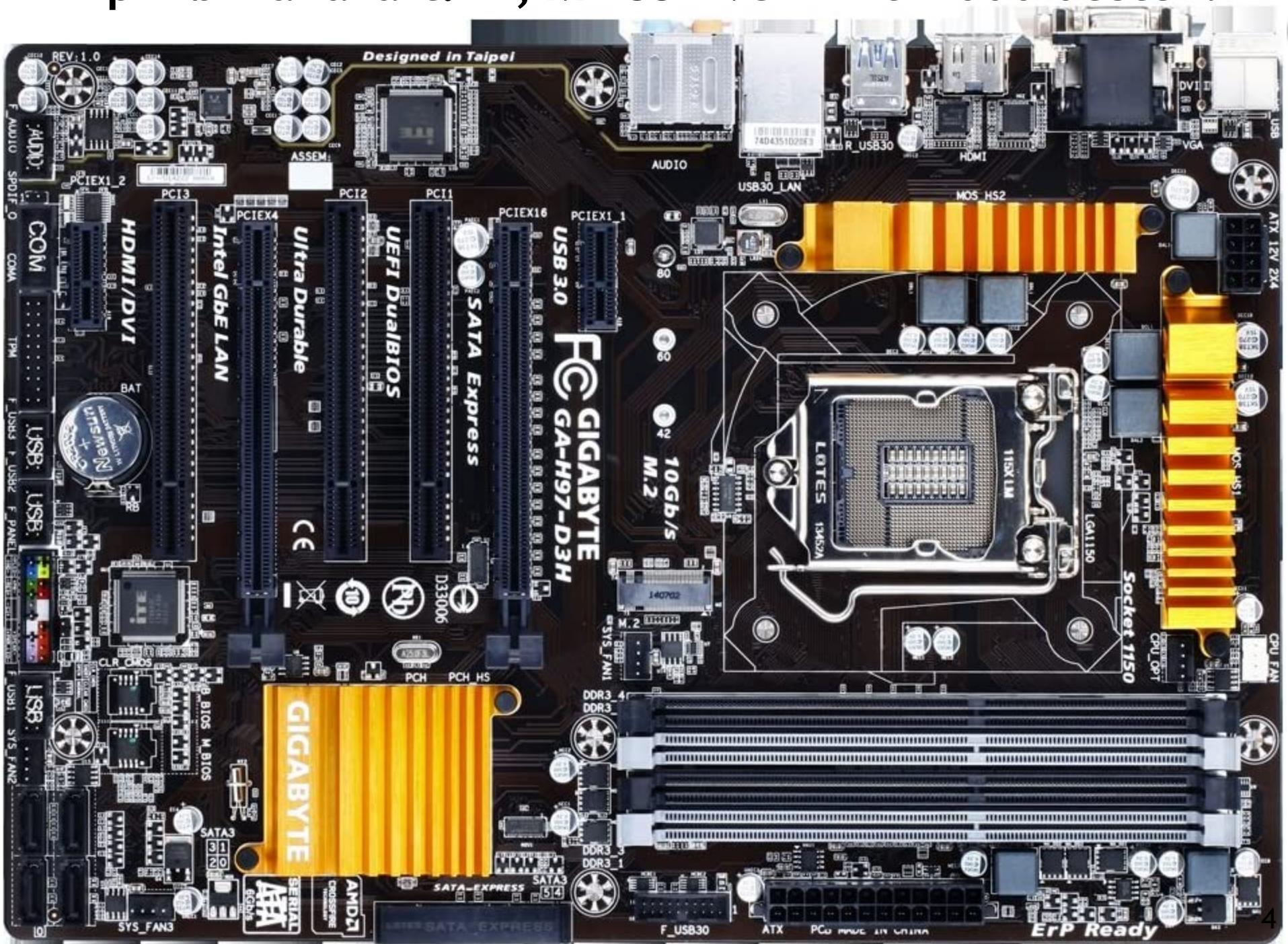
Giriş/Çıkış (I/O) Birimlerine Giriş

- Bilgisayarlar dış dünya ile giriş/çıkış aygıtları aracılığıyla haberleşirler
 - Giriş aygıtları (örn: klavye) bilgisayarlara üzerinde çalışacak veriyi sağlarlar.
 - Sonuçlar ise çıkış aygıtlarına (örn: ekran) gönderilir.
- G/Ç (veya I/O) sistemlerinin iki temel bileşeni vardır
 - **Aygıtlar**: örn. hard disk, CD sürücü, klavye, yazıcı, ekranlar
 - **Taşıyıcı hatlar**: bir aygıtı diğerine ve işlemciye ağlayan hatlardır (ing: buses).
- Bu günde derste I/O sistemlerinin şu özelliklerine bakacağız:
 - I/O performansı tüm sistemin hızını etkiler.
 - Bazı temel aygıtları ve onların performanslarını etkileyen faktörler.
 - I/O aygıtlar nasıl birbirine bağlanır: **Taşıyıcı hatlarla**

İşlemcinin Ghzleri Yanında I/O Çok Yavaştır!

- Tipik I/O aygıtları bilgisayara ne kadar hızla veri sağlayabilir?
 - Klavyede anlamlı yazıları **9-10 karakter/sn** ile yazabilirsiniz.
 - Tipik yerel bir ağda (LAN) hız 100 Mbit/sn'dir yani **12.5 MB/sn**.
 - Günümüz hard diskleri çok büyük kapasiteli ama tipik transfer hızları **80-100 MB/sn**.
 - Biraz para harcanarak 200 MB/sn yazma hızına ulaşılabilir.
 - Standart SSD'ler ortalama 560/500 MB/sn okuma/yazma hızlarına çıkabiliyorlar.
 - 500 GB için Aralık 2020 fiyatı 500-550 TL idi.

Tipik bir anakart: i7, M2 SSD ve DDR3 1600 destekli



Öncelikle HDD nedir?

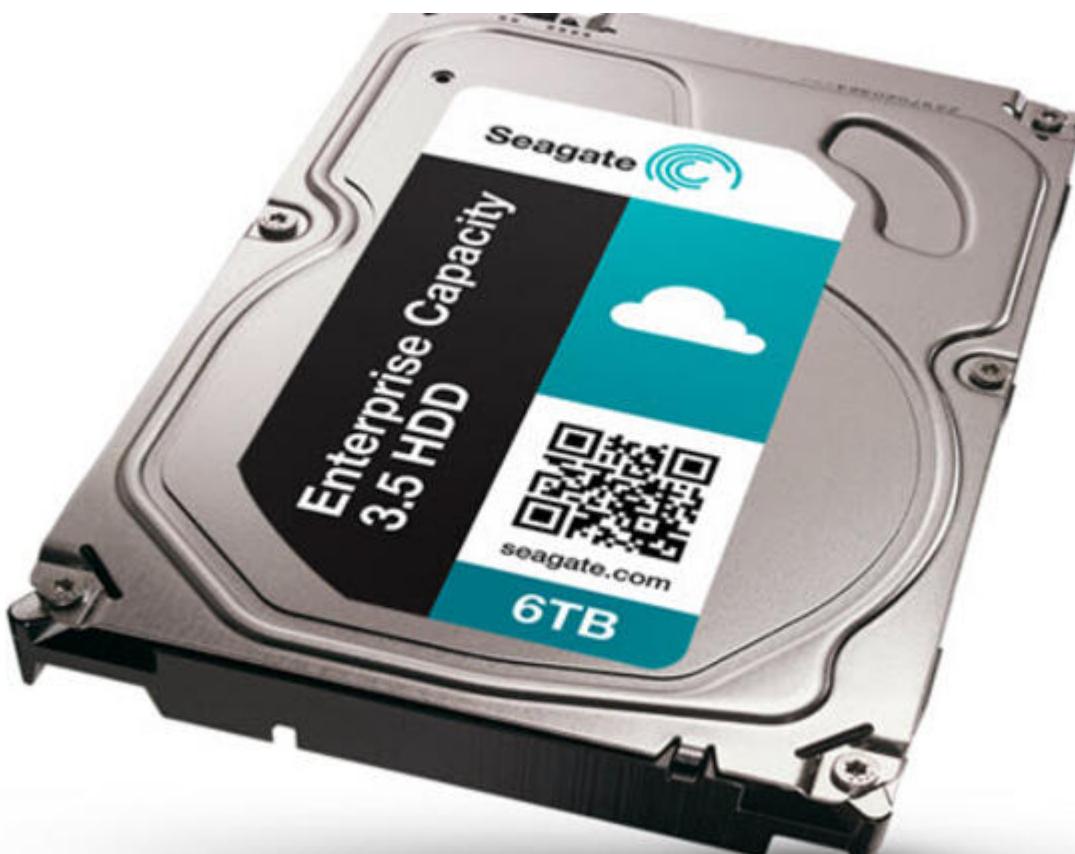
- Harddisk (HDD) veya Türkçe "sabit disk" ne demek?
- Yazıldığı yüzey sert olduğundan 'hard', yani 'floopy' değil...



- Floopy şunlardı:
- Ve biz kasaya sabitlendiğinden Türkçe'de de bu disklere 'sabit disk' diyoruz.

En hızlı sabit diskler yarışta.

- Seagate ve WD dünyanın en hızlı ve en yüksek kapasiteye sahip 6 TB'luk hard disklerini satıyorlar.
- Bulut sistemleri için 12 Gb/s SAS arabirimine sahip disklerin, sade sistem entegrasyonları için 6 Gb/s SATA bağlantı arabirimi de bulunuyor.
 - 6 Gb/sn ile 200/227 MB/sn yazma/okuma..
- Dönüş hızları 7200 RPM



2020'ye ait bir teknoloji haberi

- Hard Disk: Dünya genelinde milyonlarca hard disk sürücünün plakalarının arkasındaki firma, yeni nesil bir ıslı destekli manyetik kayıt (HAMR) medyası üzerinde çalışmayı bitirdiğini duyurdu.
 - Showa Denko K.K. (SDK) tarafından söylenene göre yeni plakalar her inç karedede (yaklaşık 6.45 santimetre kare) 5-6 TB alan yoğunluğuna ulaşabiliyor ve bu da şu andaki plakaların dört - beş katı anlamına geliyor.
 - Şu anda piyasada bulunan en büyük hard disk sürücüler dokuz dönen diske kadar seçenekçe sahip. Eğer SDK'nın sayıları doğru ise bu, içinde bulunduğu on yıl içerisinde 80TB hard disklerin gerçeğe dönüşebileceği anlamına geliyor.
- Pek çok satın alma ve birleşmeden sonra günümüzde temel olarak sadece üç tane hard disk üreticisi bulunuyor.
 - Western Digital, Seagate ve Toshiba
- Her biri milyonlarca HDD üretiyorlar ve Google, Microsoft ve Amazon gibi hizmet sağlayıcılarının ihtiyaçlarının artışı ile beraber bu üretim de hızla artmaya devam ediyor.

2020'ye ait bir teknoloji haberi

- Özellikle hız açısından SSDlerin gerisinde kalan ve satış liderliğini elinden kaçırın HDD sektörü önemli adımlar atmaya devam ediyor
 - Günümüzdeki en büyük hard disk sürücüsü, Western Digital'in 20TB boyutundaki Ultrastar HC650'si ve bu ürün SMR adlı teknolojiyi kullanıyor.
 - Fiyat konusunda ise Terabyte başına en ucuz hard diskin fiyatı 15 dolara yaklaşıyor ve bu da 80TB boyutundaki hard diskin 1.200 dolar fiyatına sahip olması anlamına geliyor.
 - Bu ücret çok yüksek gibi gelebilir ancak özellikle sunucular için potansiyel depolama kapasitesi, güç kullanımı ve genel bakım masrafları, bu ilk harcamayı çok kısa sürede telafi edecektir.
- Bu arada 20TB HDD üretimi hızlanıyor Seagate ilk olarak HAMR yani ısı yardımı manyetik kayıt teknolojisini temel alan 20TB HDD sürücülerini üretmiş ve belli başlı müşterilere tedarik etmeye başlamıştı.
- Seagate 2030 yılına kadar bu teknolojilerden en az birinde 100TB kapasiteye ulaşmayı amaçlıyor.

2020'ye ait bir teknoloji haberi

- Biraz zahmetli bir süreç olduğu için firma PMR tabanlı HDD sürücülerin daha fazla yaygınlaşmasını bekliyor.
- Birbirine paralel manyetik izler üzerine yazma fikrinden yola çıkarak bulunan PMR teknolojisinin iki boyutlu hali TDMR olarak adlandırılıyor.
- TDMR tabanlı 20TB HDD sürücülerin de üretimi hızlandı.
- Seagate daha fazla veri merkezi müşterisine bu kapasiteleri sunmaya hazırlanıyor.
- Diğer taraftan çift kafalı Mach.2 HDD sürücüler de daha fazla müşteriye tedarik edilecek.
 - Microsoft gibi bir kaç müşterinin kullandığı Mach.2 teknolojisi 524MB/s sürdürülebilir hızlar ile SSD'lere rakip oluyor.
 - Mach.2 hali hazırda 3.5 inçlik Exos 2X7 14TB HDD sürücüsünde kullanılıyor. Helium damgalı sürücü 7200RPM dönüş hızı ve 256MB çok segmentli tampona sahip. Tek port SAS 12Gb/s üzerinden bağlanan sürücü sektörün en hızlı HDD sürücüsü olarak gösteriliyor.

SSD teknolojisinde son durum

- V-NAND SSD'ler çok iyi,
 - Kapasite 250GB-2 TB Arabirim: M.2 2280 PCIe 4.0 x 4
 - 980 Okuma: 7,000MB/s Yazma: 5,000MB/s
 - NAND tipi: Samsung 1xxL 3D TLC V-NAND
 - Garanti: 5 yıl veya 600 Tbyte yazma.
 - 500 GB için Aralık 2020 fiyatı 970 için 950, 980 için 1500 TL idi.
 - Ana kartta M2 portu veya PCIeExpress ara modülü gerekiyor.

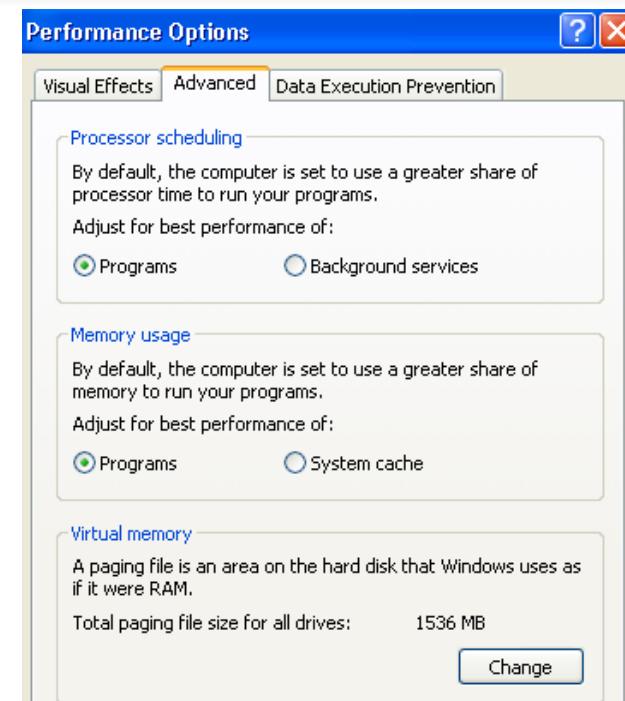


İşlemcinin Ghzleri Yanında I/O Çok Yavaştır!

- Modern işlemci ve bellek sistemleri çok daha hızlılar:
 - Modern işlemci (ing: CPU) **milyar komut/sn**'den daha hızlı işleyebilir.
 - Modern bellek (ing: memory) sistemleri **2-4 GB/sn** bant genişliğinde çalışabilirler.
- I/O performansları işlemciler kadar çabuk değişmiyor, biraz fiziksel limitleri var
 - Burada değişim hızlı ağlarla, daha iyi I/O taşıyıcı hatlarla, RAID sürücü sistemleriyle ve diğer yeni teknolojilerle olabiliyor.

Temel I/O Aygıtları

- Hard diskler günümüzde en gerekli aygıtlardır, bu yüzden onları performansı sistem üzerinde büyük etkiye sahiptir:
 - Programları, medyaları vd. saklarlar.
 - **Sanal Bellek (ing: Virtual memory) sistemleri**: hard disk ana belegen çok yavaş ama en büyük parçası olur.
- Ağlar (ve bulut) günümüzün gereçleridir:
 - Dünyaya yayılmış bilgiye ulaşılır.
 - Hard diskler ağlar için ön-bellek (ing: cache) gibi davranır, örn: web tarayıcılar sıkılıkla bakılan sayfaların lokal kopyasını saklarlar.
- Çoğu hesaplama işi büyük veri, dolayısıyla I/O bağımlıdır. Giriş/çıkış aygıtlarının hızı tüm sistemin performansını etkiler (**Amdahl kanunu**)



Sabit (Hard) Diskler

- Bir hard diskte
 - Veriler **plaka** denilen manyetik disklerin her iki yüzüne de yazılır.
 - Her yüzün önünü ve arkasını okuyan pikaplardaki kol benzeri birer kafa vardır. Ancak bunlar tarak dişleri gibi hep birlikte hareket ederler.
 - Her plaka kaydın tutulduğu, plak benzeri, merkez etrafında dönen dairesel **izler** 'den oluşur.



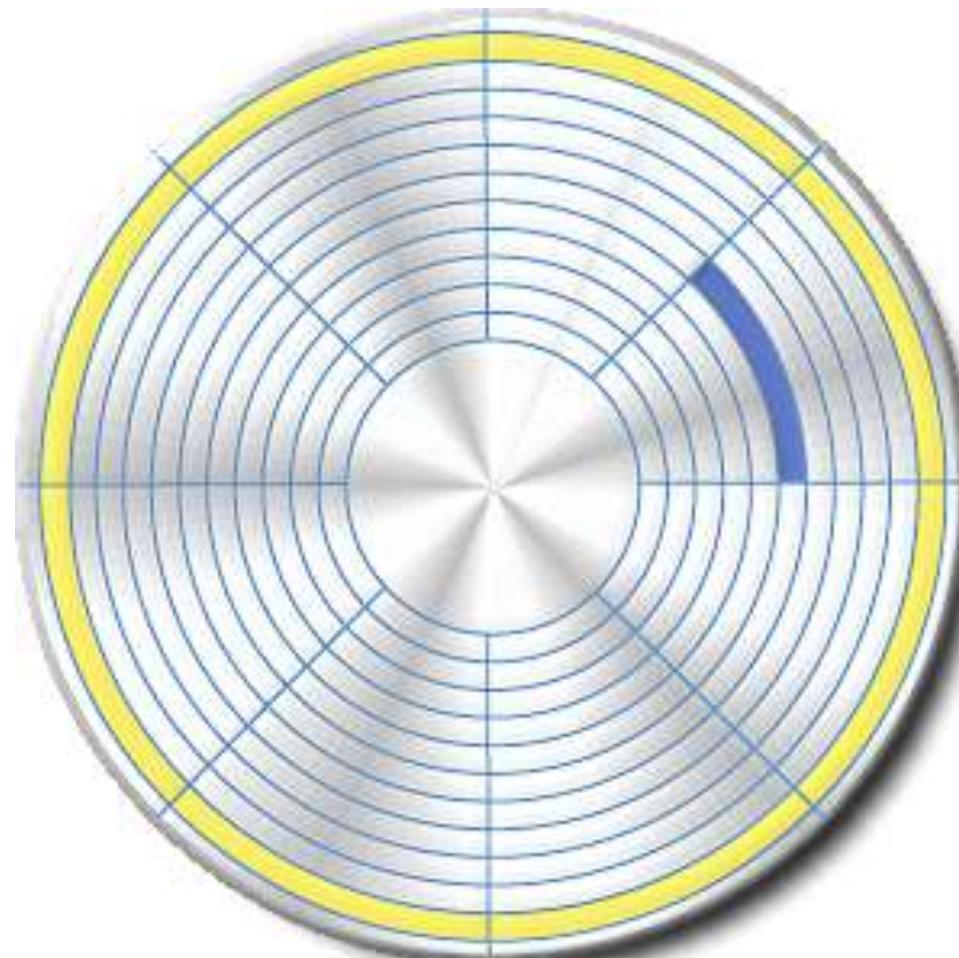


Hard Diskler

- Sabit diskler elektromekanik yapılidır ve bilgiyi manyetik olarak saklarlar.
- Bilgi; plastik, metal veya camdan yapılmış, yüzeyi demir oksit ya da başka manyetik özellikteki bir malzeme ile kaplı plakalar(diskler) üzerinde saklanır.
 - Günümüzdeki sabit disklerde plakalar camdan yapılmakta ve yüzeyleri kobalttan oluşan bir filmle kaplanmaktadır.
- Okuma yazma kafaları yüzeylere değil, dönüşün yarattığı rüzgarla, hafifçe üstten geçerler.
 - Bu yüzden en ufak darbede yüzey çizilir ve ‘Bad Sector’ oluşur.
- Bilgi yazma işini mıknatışlanma yöntemiyle yapmak, hem biz silmedikçe bilginin saklanması hem de istediğimiz zaman istediğimiz bilgiyi silme özgürlüğü verir bize.
- Yalnız aynı zamanda, sabit disklerin yoğun manyetik alanlardan etkilenme riskini de doğurur.
- Bir sabit diskte birden çok plaka bulunmaktadır.

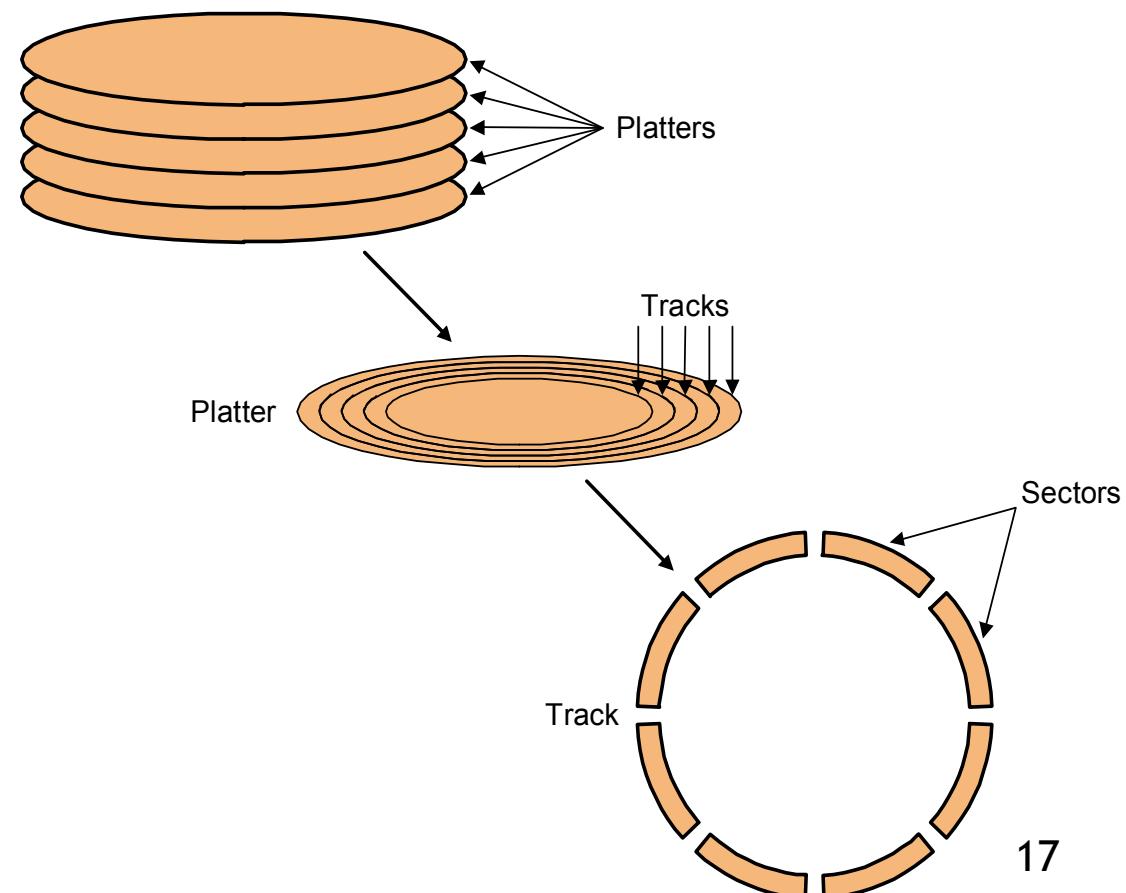
Hard Diskler

- Bir hard disk plakasında
 - Izler bağımsız **sektörlere** bölünmüştür. Bunlar veri transferinde tümü bir kerede okunan veya yazılan en küçük veri bloklarıdır.
 - Merkeze yakın sektörler daha sıkışık yazılırlar, dıştakiler uzun bir alana yazılır. (dışta 2.1 kat daha uzun, 1.7 kat hızla kayan bitler var)



Hard Diskler

- Özette bir hard diskin temel yapısında verir
 - Veriler **plaka** denilen manyetik disklerin her iki yüzüne de yazılır.
 - Her plaka kaydın tutulduğu dairesel **izler** 'den oluşur.
 - İzler bağımsız **sektör'lere** bölünmüştür.
- Örnek bir 66GB diskte:
 - 5 plaka (10 yüz),
 - 27,000 iz/yüz,
 - 512 sektör/iz ve
 - 512 byte/sektör olabilir.



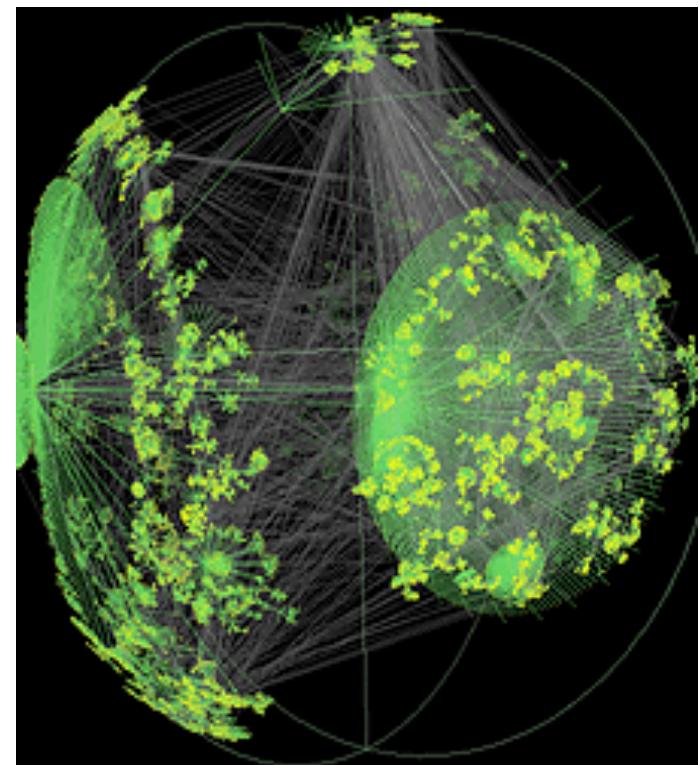
Hard Diskler (Kısa Tarihçe)

- İlk hard disk 1956'da yapıldı. IBM, 305 RAMAC isimli sabit diskten 50 adet üretti. Bu diskler 24"(61 cm) çapında ve 5 milyon karakter (5 MB) kapasitesindeydi.
- 2000 yılında 340MB diskler vardı.
- 2003 IBM disk birimini Hitachi'ye sattı.
- 2005 yılında 500GB hard diskı Hitachi üretti.
- 2007 ilk 1TB hard diskı Hitachi üretti.
- 2010 sektör kapasiteleri 512B yerine 4096B tercih edilmeye başlandı.
- 2012 TDK tek 3.5-inch plaka üzerinde 2 TB kapasiteli disk üretti.
- 2017 12 TB Helyum-tabanlı bir diskı Western Digital satışa sundu.

- Günümüzde son kullanıcıya ulaşamasa da 100TB harddisk ve hatta SSD üretmek mümkündür.
- Biz son kullanıcılar 2-4TB sınırında kalıyoruz.

Ağlar (ing: Networks)

- Ağlar üzerinde veri alışverişesi yaptığımda veri paket koleksiyonu halinde ayrıştırılır.
- Internet:
 - Her paket yaklaşık 1KB veridir.
 - Paketler verdiği yerde orijinal mesajı yeniden yapılandırıracak şekilde kullanılırlar.
- Şehirler. Ülkeler ve okyanusları aşmaları biraz zaman alır.



```
ping www.uiuc.edu : time=0.275 ms
```

```
ping www.stanford.edu: time=68.4 ms
```

```
ping www.tu-berlin.de: time=140 ms
```

I/O Performansı

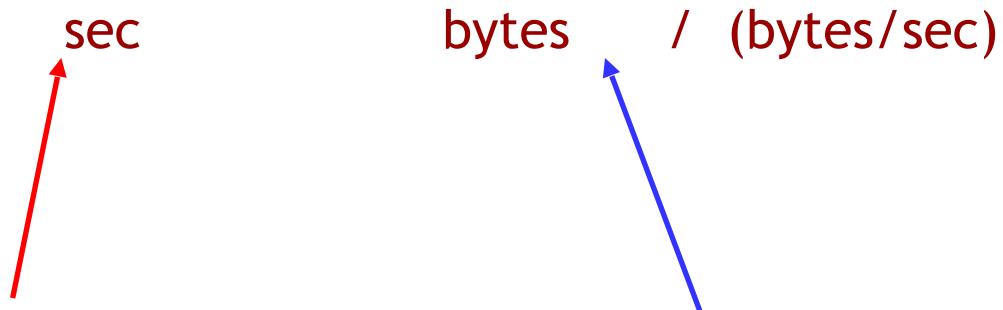
- I/O sistemlerinin iki temel performans ölçütü vardır.
- **Seyahat süresi (ing: Latency)**: En küçük paketin varış süresi (birimi zamandır)
 - Pek çok küçük transfer için tek performans kriteridir.
- **Bant genişliği (ing: Bandwidth)**: Birim zamanda iletilen veri miktarıdır (birimi byte/zaman'dır)
 - Büyük bloklar halinde oldukça çok veri iletilecek ise, baskın ölçüt budur.
 - Torrentlerden büyük dosyalar indirecekseniz, bant genişliği sizin kısıtlayıcı faktörünüz olur.

İletim Zamanı Hesabı

- İletim hatları etkin kullanılsın diye iş hattı mantığı (ing: **pipeline**) uygulanır, hatta pek çok paket ilerler, bu yüzden toplam iletim zamanı:

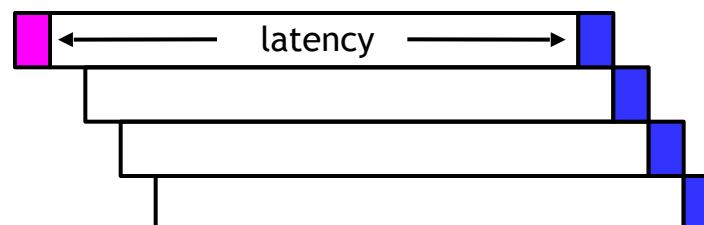
$$\begin{array}{ll} \text{Time} & = \text{latency} + \text{transfer_size} / \text{bandwidth} \\ \text{Zaman} & = \text{ilk_gelen_süresi} + \text{transfer_boyutu} / \text{bant_genişliği} \end{array}$$

sec *bytes* */ (bytes/sec)*



Küçük transferlerin
baskın terimi

Büyük transferlerin
baskın terimi



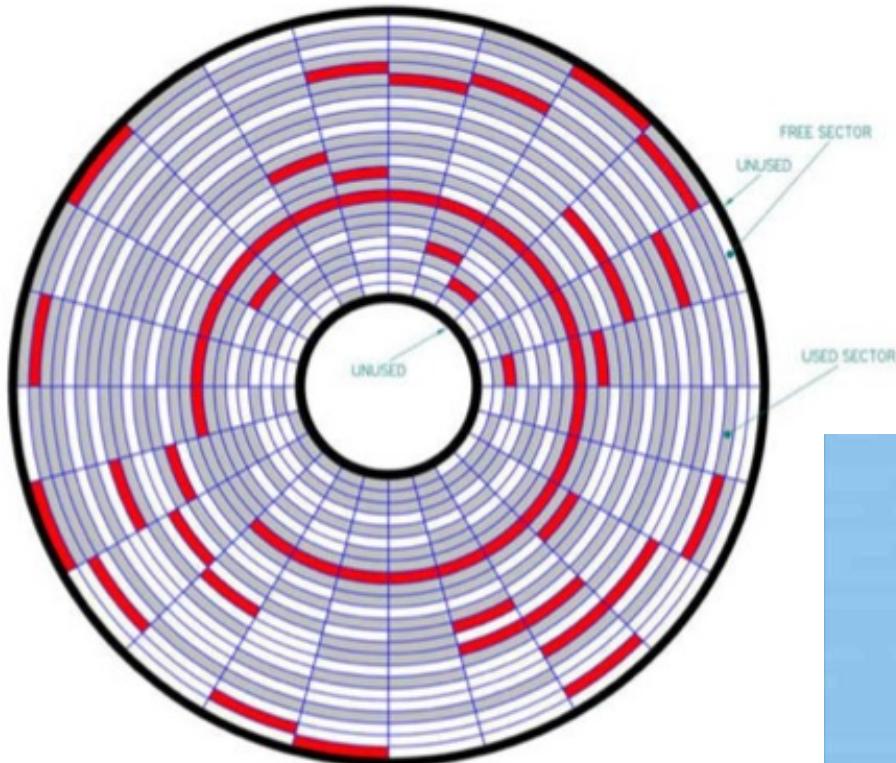
Bir Hard Disk Üzerindeki Veriye Ulaşmak

- Dönen bir diskteki bir ize ve onun üzerindeki sektöre ulaşmak bir sürü zaman alır!
- Ulaşım süresini (latency) etkileyen faktörler:
 - **Ulaşım zamanı** (ing:Seek time) disk kafasının ilgili ize gelmesi için gereken süredir.
 - **Dönme gecikmesi** (ing:Rotational delay) okunacak sektöre ulaşmak için gerekli süredir.
- Veri akış hızını (bandwidth) etkileyen faktörler:
 - **İletim zamanı** diskin gerçek okuma/yazma performansıdır. Bunu biz genelde dönüş hızından bulunur diye düşünüyoruz.
 - Yani, verimiz bir iz üzerinde ve peş peşe sektörlerde ise dönüş hızı (RPM ile ölçülür) veri aktarım hızını verir.
 - Veri farklı izlere ve sektörlere dağılmışsa aktarım hızı düşer.

Ulaşım Zamanını (ing:Seek Time) Tahminlemek

- Üreticiler kafanın bir ize ortalama ulaşım süresini verirler.
 - Örneğin 8-10msn.
 - Bu izden ize atlayan kafanın ortalama hareket süresidir.
 - Aslında yakın bir ize de gidebilir, uzak bir ize de.
- Pratikte ortalama ulaşım zamanı çok daha iyidir.
 - Çünkü, bir sonraki iz yakınlarda bir yerdedir (bir alt, bir üst gibi). Eğer yakındaysa ulaşım zamanı çok azdır. O halde verileri komşuluğu (ing:**locality**) çok önemlidir!
 - Gerçek ortalama erişim süresi 2-3msn civarındadır.
 - Disk fragmentation ifadesini veya “defragment disk” işlemini duydunuz mu?

Fragmentation



Dönme Gecikmesini (ing:Rotational Delay) Tahminlemek

- Bir kez okuma kafasını doğru ize konumlandırınca, artık istenen sektörün başlangıcı kafanın altına gelene dek dönmeyi beklemek kalıyor.
 - Bu iş ya hiç beklemeden (**peş peşe sektör okunursa**) ya da en kötüsü **bir tam dönüşle (şansızsınız veri geride kalmış)** gerçekleşecektir.
 - O halde istatistik bilimi der ki: Ortalamada rastgele okuma/yazmalar için bize yarımdönüş süresi gereklidir.
- Dönüş gecikmesi diskin ne kadar hızlı döndüğü ile alakalıdır:

$$\text{Ortalama dönüş gecikmesi} = 0.5 \text{ dönüş / dakikada_dönüş (RPM)}$$

- Örneğin 5400 RPM disklerin ortalama gecikmesi:
$$0.5 \times (60000 \text{ msn} / 5400) = 5.55\text{ms}$$
- Veriye ortama erişim süremiz (latency) = ortalama ulaşım süresi + ortalama dönüş gecikmesi'dir.

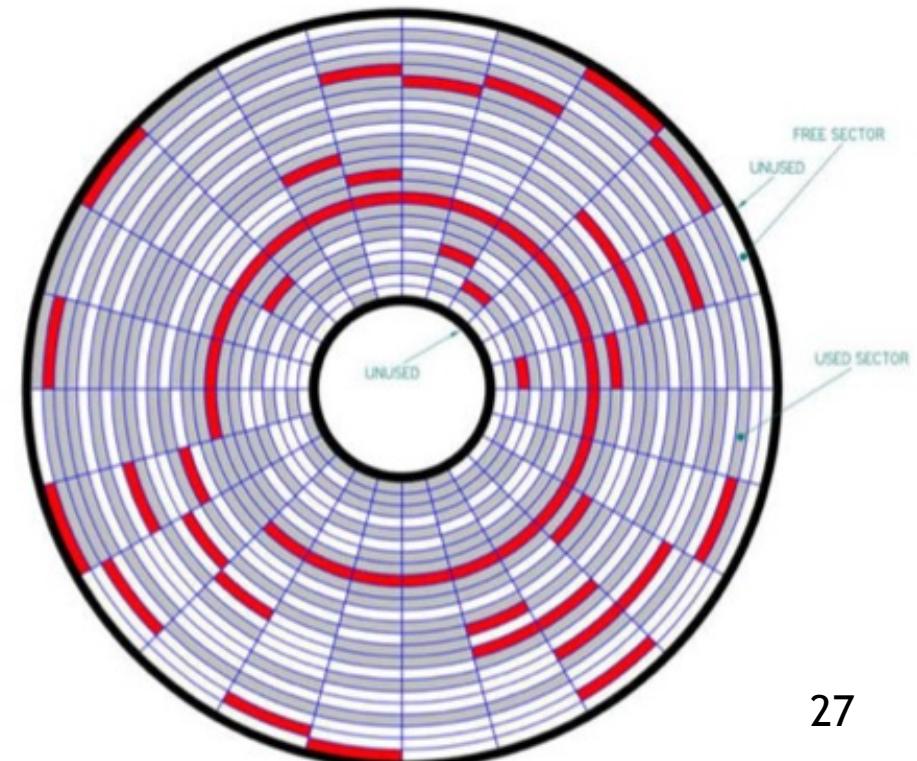
Transfer Zamanını Tahminlemek

- Elimizdeki diskin bilgileri şöyle olsun:
 - 11ms ortalama ulaşım zamanı
 - 5400 RPM dönüş hızı
 - 10MB/s ortalama veri transfer hızı
- Rastgele bir 1,024 byte'lık sektörün okunması için:
 - Ortalama dönüş gecikmesi 5.55msn
 - Yani veriye ortalama $11 + 5.55 = 16.55$ msn'de ulaşır.
- Transfer ise yaklaşık **(1024 bytes / 10 MB/s) = 0.1msn** sürer.
 - Hemen 1024/10 demeyin, byte birimleri eşitleyin, milisaniye varsa ondan bir kurtulun saniye yapın.
 - $1024/(10 \cdot 1024 \cdot 1024) = 1/10240 = 0.00098 = 0.1$ msn
- Bu noktadan sonra her peş peşe sektör okuması 0.1ms sürecektir.
- Bant genişliği saniyede peş peşe kaç sektör okunduğu ile ölçülür.
- **16.55msn + 0.1msn = 16.65msn** olan toplam süre 1GHz işlemci için
 - 16,650,000 saat sinyali demektir!



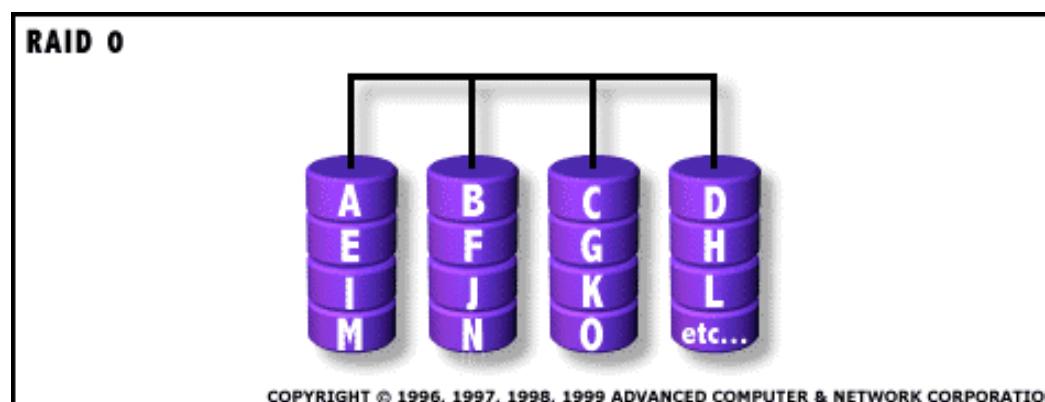
Disklerde Ortalama Veri Transfer Hızı Sabittir

- Bir diskte veri aktarım hızı fabrika tarafından verilir ama şöyle de bulunur:
 - $7200 \text{ RPM} = 120 \text{ dönüş/saniye} \Rightarrow 8,33 \text{ msn}$ her dönüşün süresidir.
 - Ek bilgi: ortalama dönüş gecikmesi = 4,17 msn
 - Örneğin bir izde 512 sektör varsa.
 - $8,33\text{msn} / 512\text{sektör} = 0,01627 \text{ msn}$ bir sektörün okunması için süredir.
 - Sektörler 512B ise $\Rightarrow 512/0,01627 = 31469 \text{ Byte/msn} = 30,73 \text{ MB/sn}$
 - Sektörler 4KB ise $\Rightarrow 246 \text{ MB/sn}$
 - Günümüzde 3Gbit/sn, yani 375 MB/sn diskler bulunmaktadır.
 - Not: Bu hız diskten kendi ön belleğine yazma hızıdır.



Paralel I/O'lar

- Pek çok donanım sistemi hızı arttırmak için paralelliği kullanır.
 - Bu derste göreceğiz ki;
 - İş hattı (ing: pipeline) kullanan işlemciler aynı anda birden çok komutu çalıştmak için ekstre donanımlara sahiptirler.
 - Ve bellekler bir anda birden çok veriyi okumamızı sağlayacak şekilde banklara ayrılmıştır.
- Bir RAID (ing: **Redundant Array of Inexpensive Disks**) sistemi bant genişliğini arttırmak adına birden çok hard diske ulaşır.
 - Aşağıdaki görselde A-O olarak isimlendirilen 15 sektörlük bir dosya, dört diske dağıtılmaktadır (ing: striped)
 - Ana bellekle bu sistemler nasıl uyumlandırılır sonra göreceğiz.



Katı Hal Diskleri İng: Solid State Discs

SSD'lerde Transfer Zamanı

- Dönmüyoruz artık !
 - 0.1msn ortalama ulaşım zamanı
 - 0 RPM dönüş hızı
 - 550 ile 7000 MB/s arasında ortalama veri transfer hızı
- Standart SSD'de rastgele 4,096 |
 - Ortalama dönüş gecikmesi 0ms
 - Veriye sadece 0.1msn'de ulaşır.
 - Transfer ise yaklaşık **(4096 byte / 550 MB/sn) = 0.0073msn** sürer.
 - **0.1073msn olan toplam süre**
 - 1GHz işlemci için 107 bin saat sinyali demektir.
 - 4GHz işlemci için 429 bin saat sinyali demektir.



RAM vs SSD

- RAM'ler tipik olarak 45GB/sn hızındalar.
 - SSD ise maksimum 7GB/sn. Henüz yaklaşamıyor.
- RAM bilgiyi unutma meyillidir. SSD unutmuyor.
- RAM kuzey köprüsüne bağlıdır.
 - SSD NVMe / PCIe veri yolundadır.
- RAM 64-128GB, SSD 500GB-100TB aralıkta.
 - İkisi de 64 adres limiti içindedir.
- RAM'de yazma ömrü yok, SSD belli bir ömre sahip.
- RAM 100-400 saat sinyalinde cevap verir, SSD ise farklı veri yolunda ve binlerce saat sinyali sonra cevap veriyor.
 - SSD üzerinde 16GB Cache RAM olsa, başka RAM'e gerek var mı?
- Sonuç: **SSD harddiskleri devirdi, yeterince hızlanırsa, yazma ömrü uzarsa ileride RAM'in yerine de geçip, sistemimizde sadece SSD görebiliriz.**

SSD'ler hakkında

- Mekanik olarak çalışan harddisklerin yerini alan yeni nesil harddiskler SSD olarak anılmaktadır.
- SSD, **Solid State Drive** kelimesinden kısaltılmıştır.
- SSD diskler günümüzde **SATA SSD** ve **NVMe SSD** olarak iki farklı veri yoluyla karşımıza çıkmaktadır.
- PCIe,, SATA'dan sonra en yüksek bant genişliği sunan arabirim olarak tanımlanabilir. Bu arayüzde veri aktarımı için kullanılan kanal sayısı SATA arayüzüne göre daha fazladır. Bu nedenle, giriş seviyesinde PCIe SSD'ler bile SATA 3.0 örneklerinden iki hatta üç kat daha hızlı veri aktarımı sağlamaktadır.
- SATA, SSD'yi bilgisayara bağlarken en çok kullanılan arayüzdür. SSD gibi flash belleklerin yanı sıra daha yavaş çalışan sabit diskler için oluşturulmuş AHCI protokolünü destekleyen SATA, SSD'lerin hızını kısıtladığı için artık yerini yeni nesil teknolojilere bırakıyor.
- SSD'lerin çoğunun okuma ve yazma hızlarının genellikle 500-550 MB/s sınırlarında olmasının en büyük nedeni, SATA arayüzünün 600 MB/s kısıtlamasıdır.

NVMe hakkında

- SATA arayüzünün 600 MB/s kısıtlaması nedeniyle, SATA arayüzünden daha yüksek hız sağlayan yeni bir arayüz olarak NVMe kullanılmaya başlandı.
- Türkçeye çevrildiğinde çok anlamlı bir kelime dizisi çıkmasa da önünde bulunan ön ek NVME daha anlamlı bir kelime dizisi oluşturmaktadır.
 - NVMe (Non-Volatile Memory Express) "(Uçucu olmayan) Silinmeyen Süratlı Bellek" anlamında kullanılır.
 - NVMe'deki e harfi yeni nesil PCIe veriyolundan esinlenerek oluşturulmuştur.
 - Başka bir ifadeyle PCIe arayüzünün NAND belleklerinin gerçek gücünü ortaya çıkarabilmesi için geliştirilmiştir ve ismindeki express kelimesinin de bir sonucu olarak hard diskten ziyade hızlı bellek gibi çalışarak sürücünün daha hızlı çalışmasına imkan sağlar.
- NVMe arayüzüyle SATA 3.0'ın getirdiği kısıtlamalar aşılıarak artık 32 Gbit/s (8GByte/sn) hızlarına erişilebiliyor.

NVMe hakkında

- NVMe ile SSD'ler daha geniş komut kuyruklarını verimli bir şekilde işleyebiliyor.
- Büyük sistemler, veri merkezleri ve yüksek performans gerektiren profesyonel sunucu uygulamaları için geliştirilen NVMe teknolojisi, düşük enerji üretimi ve yüksek tepki süresi ile depolama performansını üst seviyelere taşırlar.
- Daha verimli bir protokol olan NVMe teknolojisi, daha az gecikme süresi sayesinde depolama verimliliğini artırır.

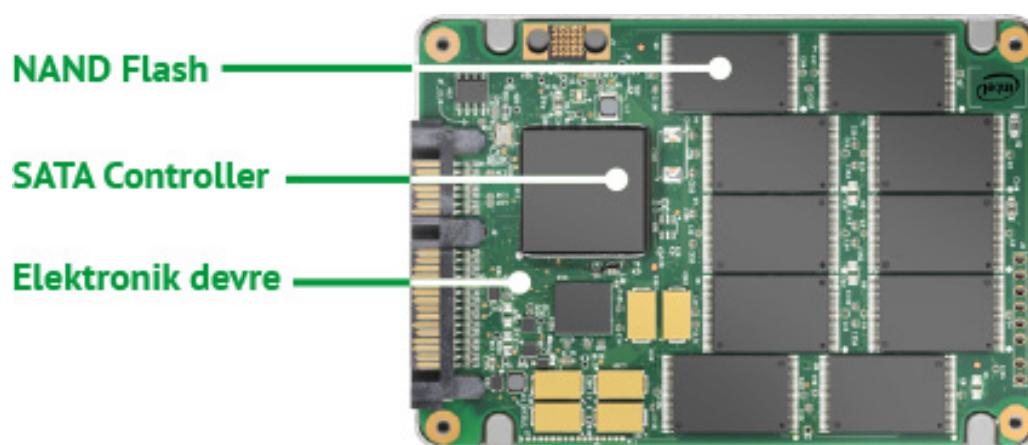
SSD'ler hakkında

- NVMe SSD'ler oldukça küçük.

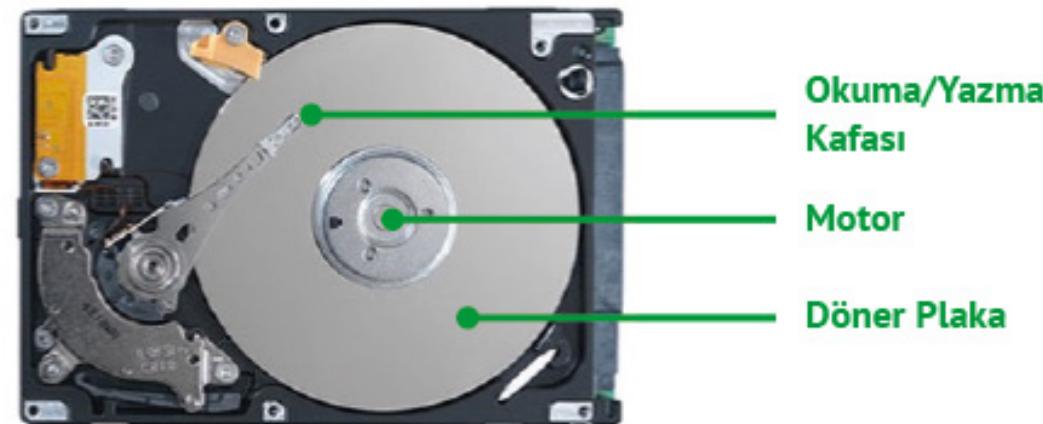


SSD'ler hakkında

- SATA'yla birlikte PCIe destekli SSD'lerde mevcuttur.
 - Çünkü SATA'dan sonra çalışan en yüksek bant genişliğine sahip veriyolu PCIe'dir.
 - PCIe veri aktarımına sahip kanal sayısının fazla olması nedeniyle hız konusunda SATA'nın önüne geçmiştir.
 - SATA yavaş çalışan sabit diskler için oluşturulmuş AHCI protokolünü desteklediği için SSD disklerin hızları 550 MB/s ile sınırlanmıştır.
- Bu olumsuzluklardan ötürü geliştirilen NVMe arayüzü ise SSD diskleri 7000 MB/s gibi abartılı bir seviyeye taşımıştır.



SSD



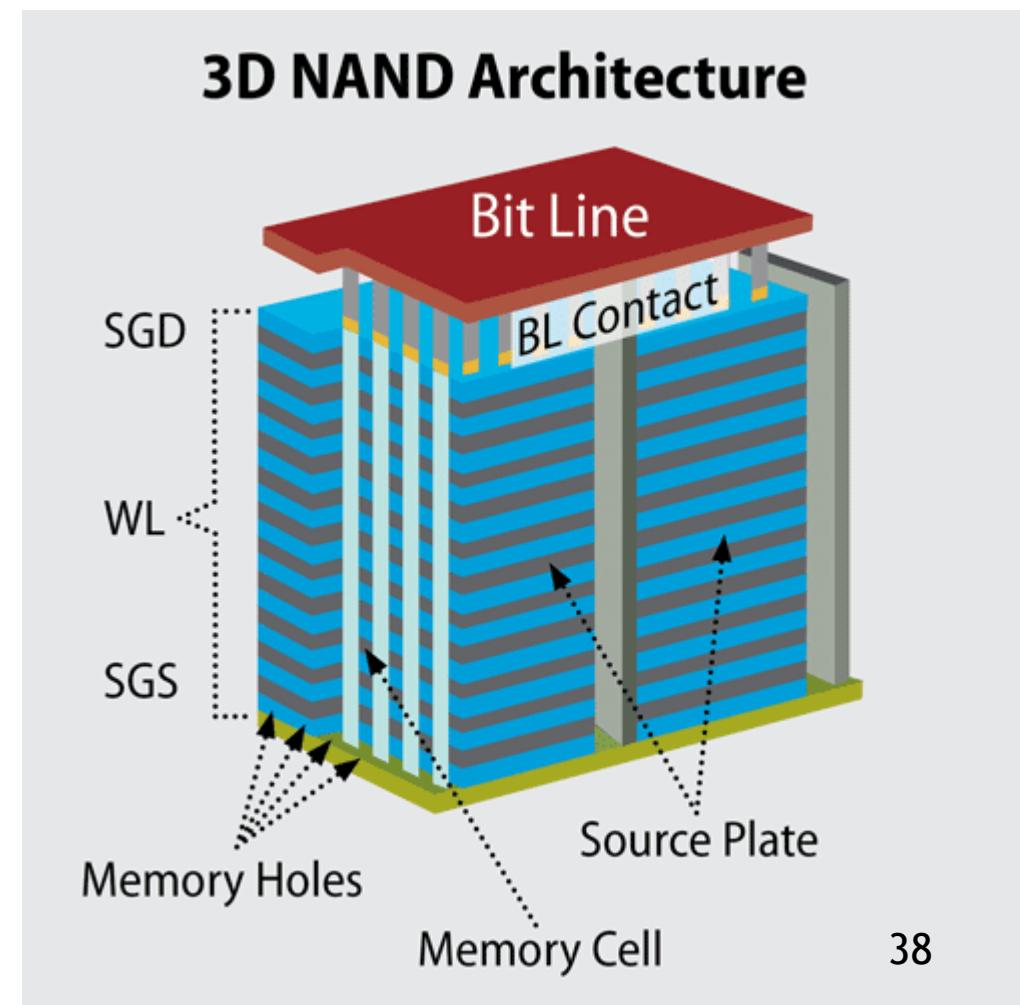
HDD

SSD'ler hakkında

- Teknolojik olarak incelediğimizde, hareketli parçaları olmayan ve neredeyse anında erişim süreleri olan NAND flash bellek adı verilen basit bir bellek yongası kullanırlar.
- SSD benzeri teknoloji ile ilgili ilk deneyler 1950'lerde başlamış, 1970'ler ve 1980'lere gelindiğinde askeri ve havacılık sektöründe kullanılmaya başlandı.
 - Fakat teknolojinin son derece pahalı ve depolama kapasitesinin de o oranda düşük olması (2MB-20MB) kullanıcı bilgisayarlarına girmesini ertelemiştir.
- Bir SSD üzerindeki bellek yongaları, (RAM) ile karşılaştırılabilir.
 - Dosyalar, manyetik bir disk yerine, NAND flash hücrelerinden oluşan bir ızgaraya kaydedilir.
 - Her bir ızgara (bloklar olarak da isimlendirilir) 256 KB ile 4MB arasında veri depolayabilir.
 - SSD denetleyicileri, blokların tam adresine sahip olduğu için bir dosya istediği (neredeyse) anında kullanılabilir hale gelir.
 - Bu nedenle SSD erişim süreleri nanosaniye cinsinden ölçülür.

SSD'ler hakkında

- NAND flash bellek, verileri korumak için enerji gerektirmeyen, kalıcı bir depolama teknolojisidir.
 - Birkaç transistörün seri olarak bağlandığı ve verileri kaydırmalı geçit transistörlerle bellek hücreleri dizilerinde depolayan flash bellek türüdür.
 - Kontrol kapısı ve kayan kapı olmak üzere iki kapı içerir ve tek bir hücreyi programlamak için kontrol kapısına bir voltaj yükü uygulanır.
 - Elektronlar daha sonra kontrol kapısına doğru çekilir, ancak kayan kapı onları normal çalışma koşullarında yıllarca kalabilecekleri alt tabaka içinde hapseder.



SSD'ler hakkında

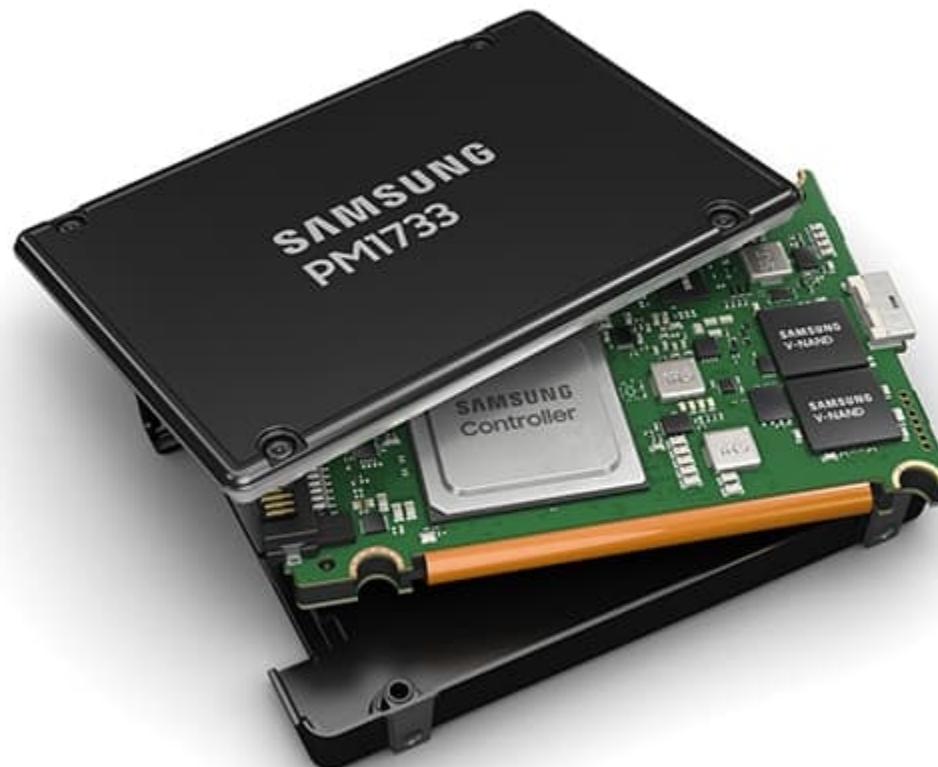
- NAND flash bellek, verileri korumak için enerji gerektirmeyen, kalıcı bir depolama teknolojisidir.
 - Bir hücreyi silmek için, kontrol geçidi topraklanmalı ve karşı tarafa veya alt tabakaya bir voltaj uygulanmalıdır.
 - Sürekli silme, yazma ve okuma NAND flash bileşenlerini yıpratır.
 - Bu nedenle SSD disklerin Total Bytes Written adı verilen bir yaşam döngüsü vardır ve bu döngüye göre SSD disklerin kullanımını için okuma, yazma ve silme işlemlerinin Toplam Byte olarak bir karşılığı bulunmaktadır.

SSD'ler hakkında güncel bilgi

- Bilgisayarların depolama alanı teknolojinde bir devrime sebep olan SSDnin üreticileri sürekli artan veri miktarına ayak uydurmak için ürünlerini hızla geliştirmeye devam ediyorlar.
- SSD depolama birimlerinin GB başına düşen maliyeti geleneksel olan hard disk teknolojilerine göre daha düşük olması SSDlerin çok daha hızlı geliştirilmesine neden oluyor.
- Özellikle son yıllarda NAND SSD alanındaki önemli geliştirmeler kullanıcı deneyimini ciddi anlamda artırdı.
- SSD ve HDD üreticisi Western Digital (WD), Kioxia Corporation (eski adıyla Toshiba) ile beraber NAND kapasitesini ve performansını yukarı doğru çeken 112 katmanlı BiCS5 3D NANDı duyurdu.
 - BiCS5 3D NAND performansı ve kapasitesi ile rakiplerini zorlayacak gibi görünüyor.
 - BiCS4'ün 96 katman kullanıyordu.
- SSD'deki bu katman artışı, depolama biriminin bellek arayüz hızını yüzde 50 oranında, bellek dizisinin yoğunluğunu ise yüzde 20 oranında artırıyor.

PCIe Gen 4 SSD (Ekim, 2020)

- İlk dual-port solid-state drive.
- x2 transfer hızı: 7000 MB/sn.
- 1.92-15.36 TB kapasite, U2 form faktörü.
- 5 yıl yazma garantisi. 2 milyon ortalama hata süresi (MTBF).



Peki PCIe Gen 5,6 hatta 7 SSD (Ekim, 2021)

- MSI'ın en son Insider canlı yayınına katılan Phison CTO'su Sebastien Jean, PCIe Gen 5, Gen 6 ve hatta Gen 7 kontrolcülere dayanan yeni nesil SSD'lerle ilgili konuştu.
 - Phison SSD kontrolcüler için önemli bir şirket ve 2021de yeni nesil PCIe 5.0 kontrolcülerini piyasaya sunmayı planlıyor.
- Yeni bir SSD tasarımlı geliştirmek yaklaşık 16-18 ay sürüyor.
- Ayrıca yeni bir üretim teknolojisine dayanan ürünler için çalışmaların 2-3 yıl önce başlıyor.
- 2025-2026 civarında piyasada olması gereken PCIe Gen 6 SSD'ler için düşük seviyeli bileşenler tasarlamağa başlandı bile.
- PCIe 5.0 SSD'lere gelince, bu sürücülerin 14 GBps'ye kadar hız sunacağı ve mevcut DDR4-2133 belleğin de kanal başına yaklaşık 14 GBps hız sunduğu bildiriliyor.
- SSD'ler sistem bellek çözümlerinin yerini almayacak, ancak yine DRAM çözümlerine yakın hızlar sunabiliyor.



Peki PCIe Gen 5,6 hatta 7 SSD (Ekim, 2021)

- Mevcut CPU mimarileri L1, L2 ve L3 önbellek birimlerinden oluşuyor. Phison ise 4 KB önbelleğe sahip PCIe 5.0 ve ötesindeki SSD'lerin benzer bir tasarım mimarisi sayesinde CPU için bir LLC (L4) önbelleği olarak çalışabileceğine inanıyor.
- Phison, termal konular ve güç tüketimi konusunda 4. nesil SSD üreticilerine soğutucu kullanmayı tavsiye ettiklerini ancak 5. nesil için bunun bir zorunluluk olduğunu belirtmiş.
 - Yani yeni nesil SSD'ler için aktif fan tabanlı soğutma çözümleri görme ihtimalimiz bile var.
 - Gen 5 SSD'ler ortalama 14W TDP'de, Gen 6 SSD'ler ise yaklaşık 28W TDP'de çalışacak.
- Yakın zamanda KIOXIA, 14.000 MB/sn'ye varan okuma hızları ve Gen 4.0 SSD'lerin IO performansını iki katına çıkaran ilk PCIe Gen 5.0 SSD prototipini ortaya çıkardı.
- Phison, Samsung'un kendi kontrol cihazlarıyla rekabet etmeye devam edecek ve PCIe Gen 5.0 (NVMe 1.4b standartı) SSD'lerin 2022 yılı içinde piyasaya çıkmaya başlayacağı belirtiliyor.



Örnek Sorular

Örnek

- 1GB dosya okunacaktır:
- Dosya büyük o yüzden hazırlık aşamaları göz ardı edilir.
 - 0.005 sn ile 0.0001 arasında değerler aşağıdaki hesaplardan çok küçük.
- Aktarım hızlarına göre:
 - 166MB/sn harddisk ile $1024\text{MB}/166\text{ (MB/sn)} = 6,17\text{ sn}$.
 - 560 MB/sn SSD ile $1024\text{MB}/560\text{ (MB/sn)} = 1.83\text{ sn}$.
 - 7000 MB/sn SSD ile $1024/7000\text{ (MB/sn)} = 0.15\text{ sn}$.
- Not: 3Ghz işlemci saati 0.33 nanosaniye, yani 0.000 000 000 33 saniye.
- İyi de okuduğumuzu yazdığınıız hedef bir harici disk ise:
 - 30 MB/sn yazma ile $1024/30 = 34.13\text{ sn}$.
 - Yani elinizde ne güç olursa olsun, bir yavaş sürücü engeli çıkıyor.

Geçmiş ödev sorusu

- 7200 RPM bir harddiskte 4K'lık sektörlerden bir izde 320 adet var, diskin okuma hızı ne olur?
- Öncelikle dönüş hızı nedir?
 - $7200 \text{ RPM} \rightarrow 60000 \text{msn} / 7200 = 8.33 \text{ msn}$
- Bir izi 8.33 msn'de okur, peki izin boyutu nedir?
 - $4\text{KByte} * 320 = 1280 \text{ KByte}$
- Hemen bölüp bulalım mı... Hayır!
 - Önce veri boyutunu MB'a, mili saniyeleri saniyeye çevirin.
 - $(1280/1024) \text{ MB} / 0.0083 \text{ sn}$
 - Sonuç 150 MB/sn.
- **Sizce ödevlerde nerede yanlış yapıyorsunuz?**
 - $1280/8.33 = 153.66 \text{ MB/sn}$ derseniz, hatalı olarak notlanır...

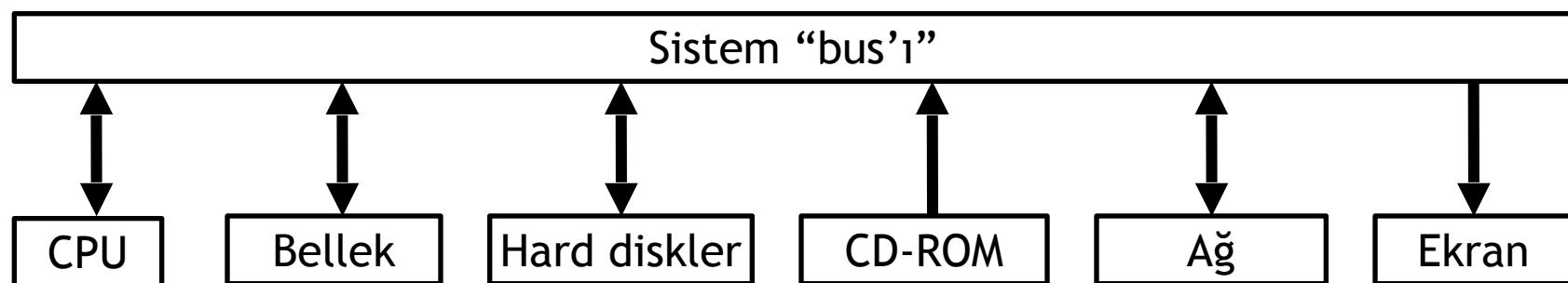
Örnek

- Önceki örnekteki diskin ortalama 2ms iz erişim süresi (kafa hareketi) ile rastgele izlerdeki tek tek sektörleri okuma hızı ne olur?
- Öncelikle dönüş hızı nedir?
 - 7200 RPM → $60000 \text{msn} / 7200 = 8.33 \text{ msn}$
 - Ortalama dönüş gecikmesi yarısıdır: 4.17 msn.
 - Toplam 6.17 msn.
- Bir sektör boyutu 4KB ise random okuma hızı ne olur?
 - Önce veri boyutunu MB'a, mili saniyeleri saniyeye çevirin.
 - $(4/1024) \text{ MB} / 0.00617 \text{ sn}$
 - Sonuç **0.633 MB/sn**. En kötü senaryo!
- Fragmente dosyalar bu yüzden kötü.
- Sonuç bu denli dramatik olmaz ama %50 hız kaybı bile kötü olurdu.

Taşıyıcı Hatlar İng: Buses

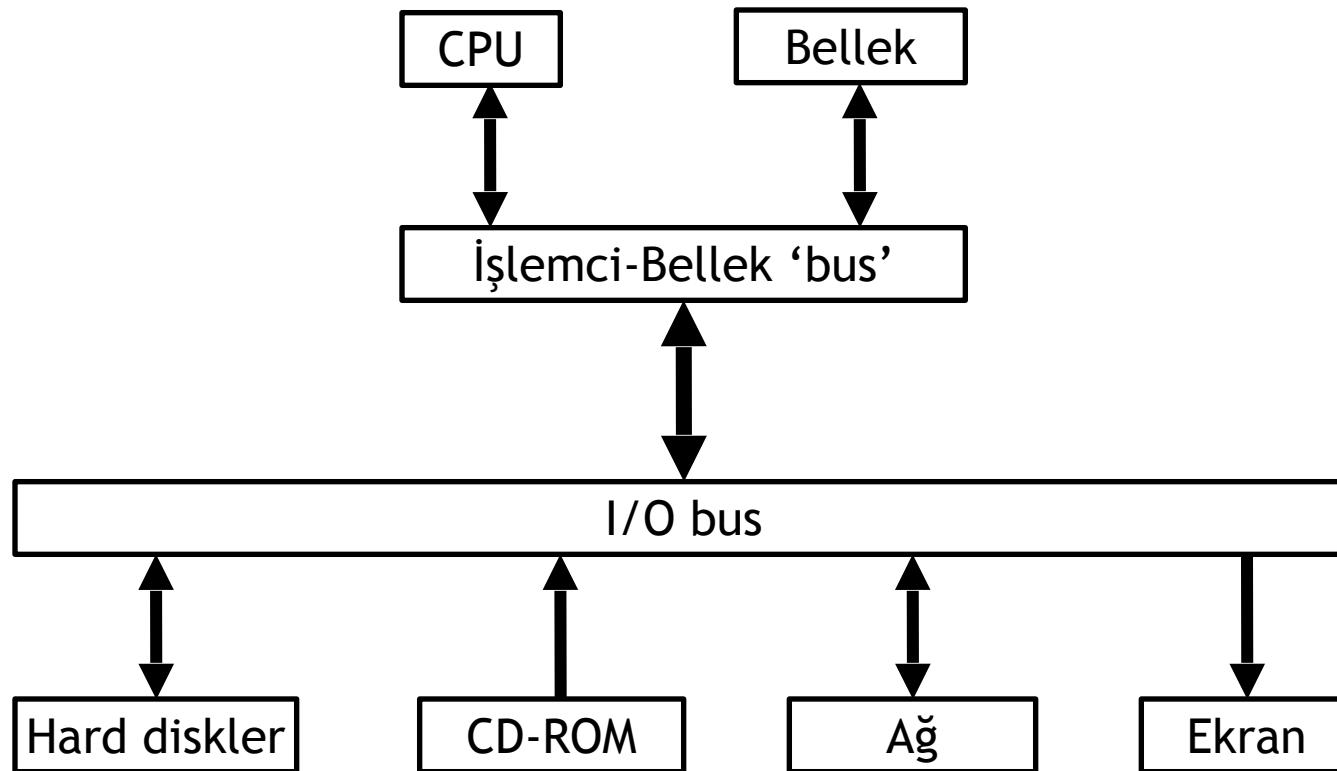
Bilgisayar İçi Taşıyıcı Hatlar (ing: Buses)

- Her bilgisayarın içinde “bus” da denilen küçük ağ yapıları bulunur.
 - Bunlar işlemciler, bellek ve I/O aygıtlarını birbirine bağlar.
- En basit “bus” aşağıdaki gibi düzlemseldir.
 - Tüm aygıtlar bu hatta bağlıdır
 - Ama bir zaman diliminde yalnızca tek bir aygıt veri transferi için bu hattı kullanabilir.
- Basitlik her zaman iyi bir şey değildir!
 - Aygıtlar arttıkça aralarındaki çekişme de artar
 - Aşağıdaki CPU-Ekran gibi birbirine uzak aygıtların mesajlaşmasında diğerlerine göre göreceli olarak bir yavaşlık olur (latency artar).



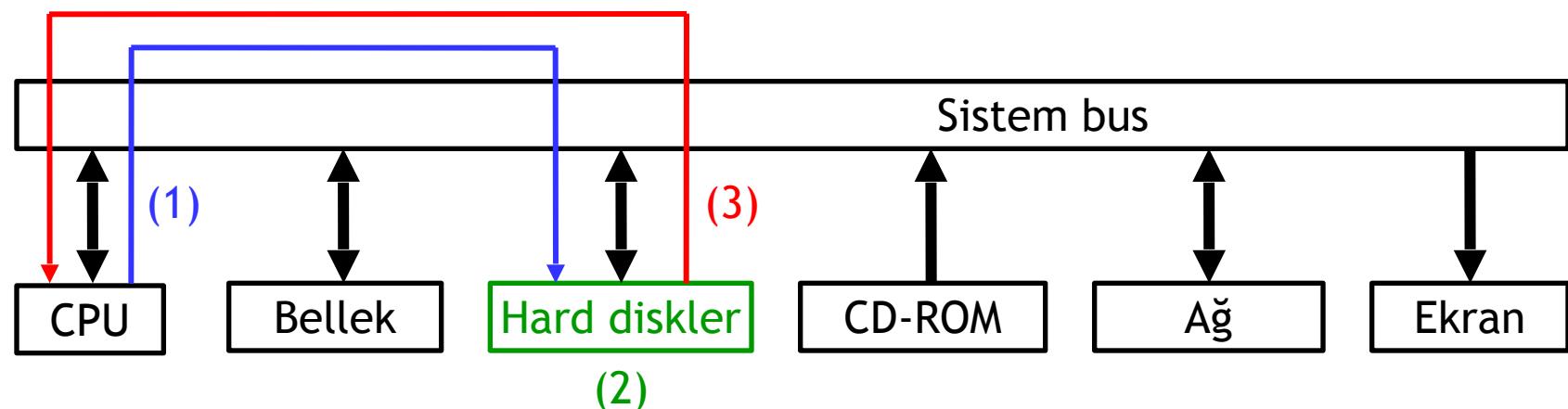
Hiyerarşik Hatlar

- ‘Bus’ hattımızı amacımıza göre farklı katmanlara bölebiliriz.
 - CPU ve bellek çok sık iletişim kuruyorlar, kısa ve hızlı bir ‘**işlemci-bellek bus**’ onlara ayrılabilir
 - Bir de ‘**I/O bus**’ kurulur ki yavaş olan aygıtların işlemciye ulaşması mümkün olsun. Bu hatta gerektiği anda ek aygıtlar bağlanabilir.



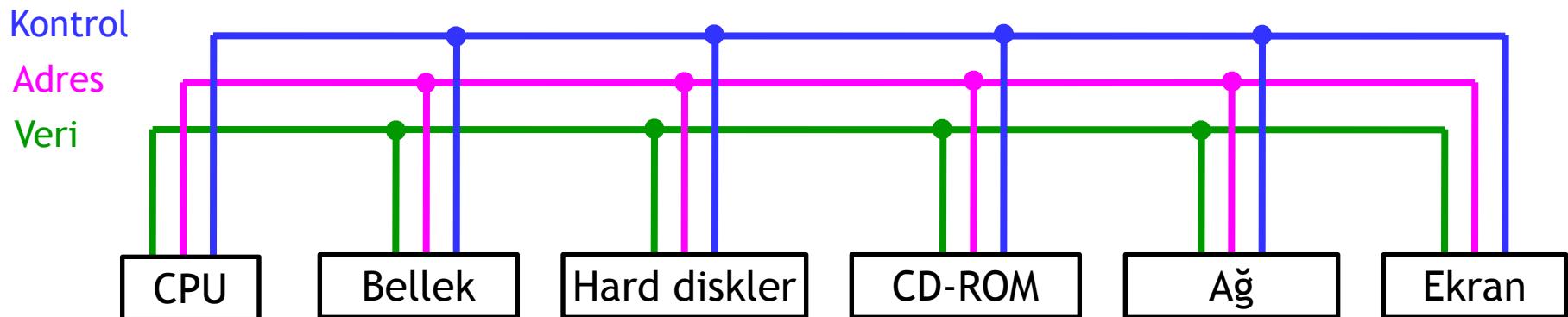
Hatlar Ait Temel Protokoller

- Her ne kadar performans olsun diye fiziksel olarak ‘bus’ları hiyerarşik ayırsak ta, mantıksal olarak tek hat varmış gibi davranışılır.
- I/O aygıtları adresler kullanarak bilgileri okuma/yazma yaparlar (program komutları: load/store).
- İki aygıtın (kaynak: işlemci, hedef: disk) iletişimini şöyle olabilir:
 1. Kaynak bir adres ve veriyi hedefe ulaşmak üzere hat üzerine koyar.
 2. Hedef bu veriyi “okuma” veya “yazma” olarak değerlendirir.
 3. Hedef kaynağa işlemin bittiğine dair onay işaretini yollar.
- Hattın genişliği her saat sinyalinde yapılabilecek transferlere sınır koyar.



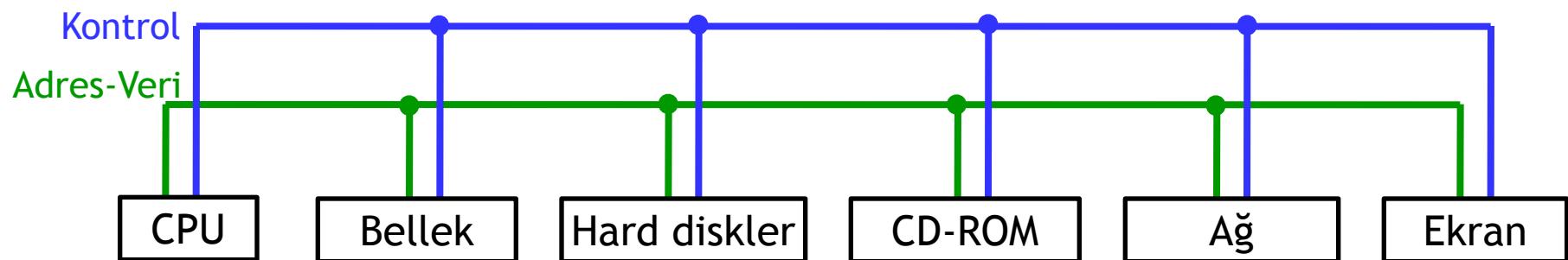
Bu Hatlar Aslında Nedir?

- Bir ‘bus’ üç tip bilgiyi taşıyan bir kablo kümesidir.
 - **Kontrol sinyalleri** “okuma” veya “yazma” gibi komutlardır.
 - **Adres** aygıt üzerinde okuma/yazmanın yapılacak konumudur.
 - **Veri** aktarılacak bilgidir.
- Bazı ‘bus’lar kontrol, adres ve veri hatları olarak ayrılırlar. Bu sayede tüm bu bilgileri bir saat sinyalinde karşıya ulaştırabilirler.



Çoklanmış (ing:Multiplexed) Hatlar

- Maalesef ana kartta çok kablo = çok para demek.
 - Çoğu ‘bus’ bir anda 32-64 bit arası veriyi iletebiliyor.
 - 32bit mimaride adresler 32-bit uzunlukta, maksimum 4GB adres var.
- Madem hatlar pahalı bazı hatları seçmeli (ing: **multiplexed**) yapalım.
 - Mesela, adres ve veri aynı uzunluktaysa, önce birini, sonra öbürünü yollayız.
 - Bu işlem 2 saat sinyali alır, ancak fiyatlar düşer.



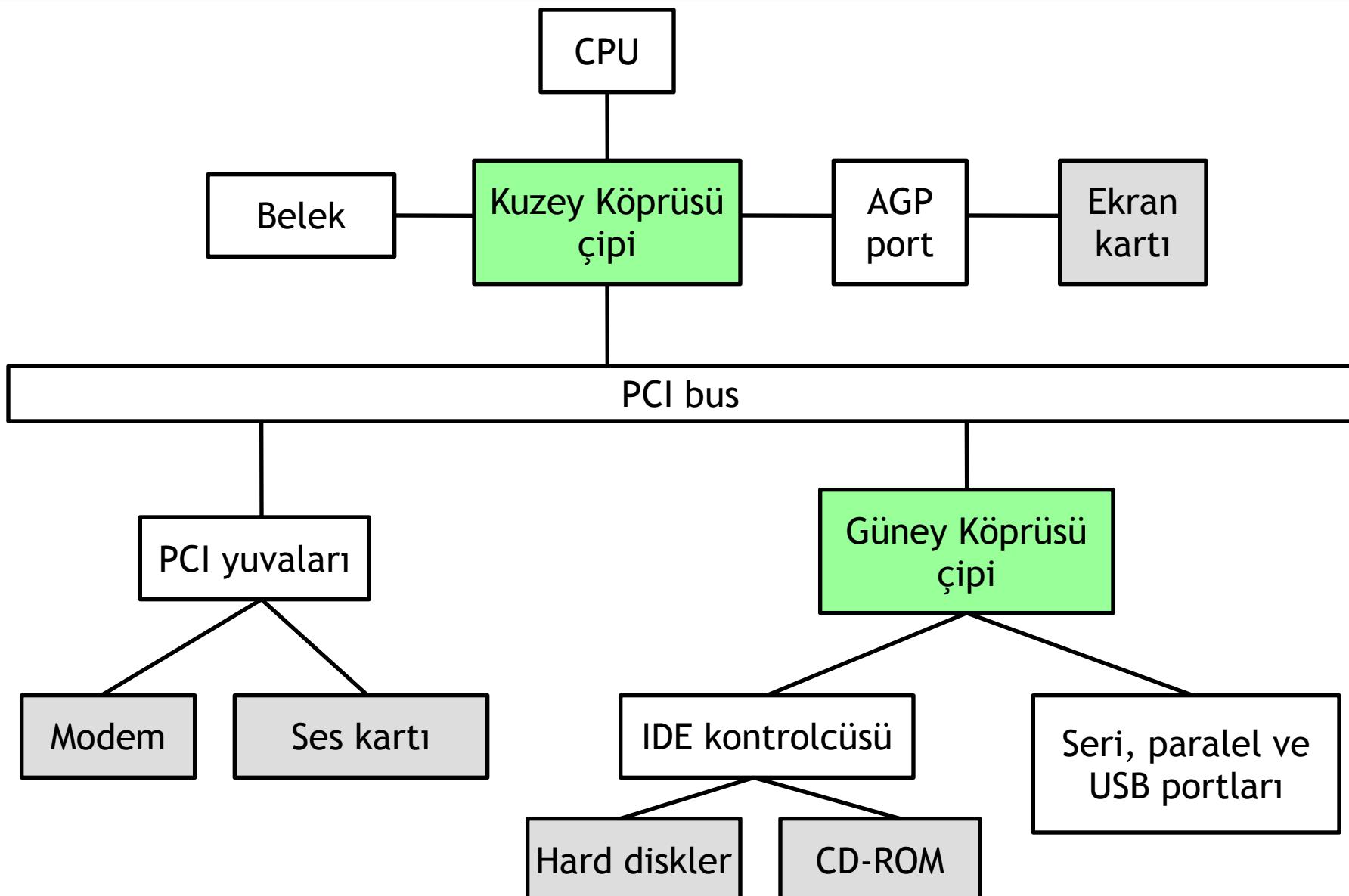
Örnek ‘Bus’ Soruları

- Bir CPU ve bellek, 100MHz hızında bir 32-bit bus üzerinden haberleşiyor.
 - Bellek adresi verilen 64-bitlik bir veriye 50nsn hızında ulaşıyor.
- İlk verinin gelişisi (latency) veya verinin tamamının gelişisi (throughput) üzerine şunlar sorulabilir:
 - Bellekteki bir adresin okunma ne kadar zamanda işlemciye gelir?
 - Saniyede kaç rastgele bellek okuması yapılabilir?
 - Saniyede kaç MB okunur?
- Önce tek bir transferin toplam süresini bulmanız gerekiyor:
 1. 32-bit adresi belleğe ulaştırmamanız 1 saat sinyalidir.
 2. Bellek 50nsn bekletiyor, yani 5 saat sinyali.
 3. Bus 32bit uzunlukta olduğu için 64bit veri 2 saat sinyalinde gelir.
- Şimdi hesabınızı yapın (latency/throughput):
 - Bir adresle 8 saat sinyalinde veri aldık, yani 80nsn. (=latency)
 - 12.5 milyon okuma/sn hızımız çıkar:
 - $1\text{sn} / 80\text{nsn} = 12.5 \times 10^6$
 - 12.5×10^6 okuma/sn x 64 bit/okuma = $12.5 \times 10^6 \times 8$ byte/sn = 100MB/sn

Senkron ve Asenkron ‘Bus’lar

- Bir **senkron bus** sistem saatine uyarak işlem yapar.
 - Bus iletişimini kolaylıkla sonlu makine mantığıyla (ing:finite state machine) yönetilebilir.
 - Ancak saat hızı ve bus genişliği ters orantılıdır; hızlı saatler demek verinin yolda gitmesi için az zamanı var demektir.
 - Bunun bir sonucu da PC'lerin asla beş genişleme yuvasından fazlasına sahip olamamasıdır.
 - Tüm aygıtlar aynı hızla çalışmalıdır, daha hızlı olabilme kapasitesi olanlar da.
- Bir **asenkron bus** saat sinyallerine itaat etmez.
 - Bus iletişimleri gerçekten karışık el sıkışma protokollerini kullanırlar. Yani her aygit diğer birinin boşta veya hazır olduğunu tespit edebilir.
 - Diğer yandan ise, bus daha büyük olabilir ve bağımsız aygıtlar farklı hızlarda işlem yapabilirler.
 - USB ve Firewire gibi çoğu dış bağlantılı ‘bus’lar asenkrondur.

Modern PC'lerdeki 'Bus'lar

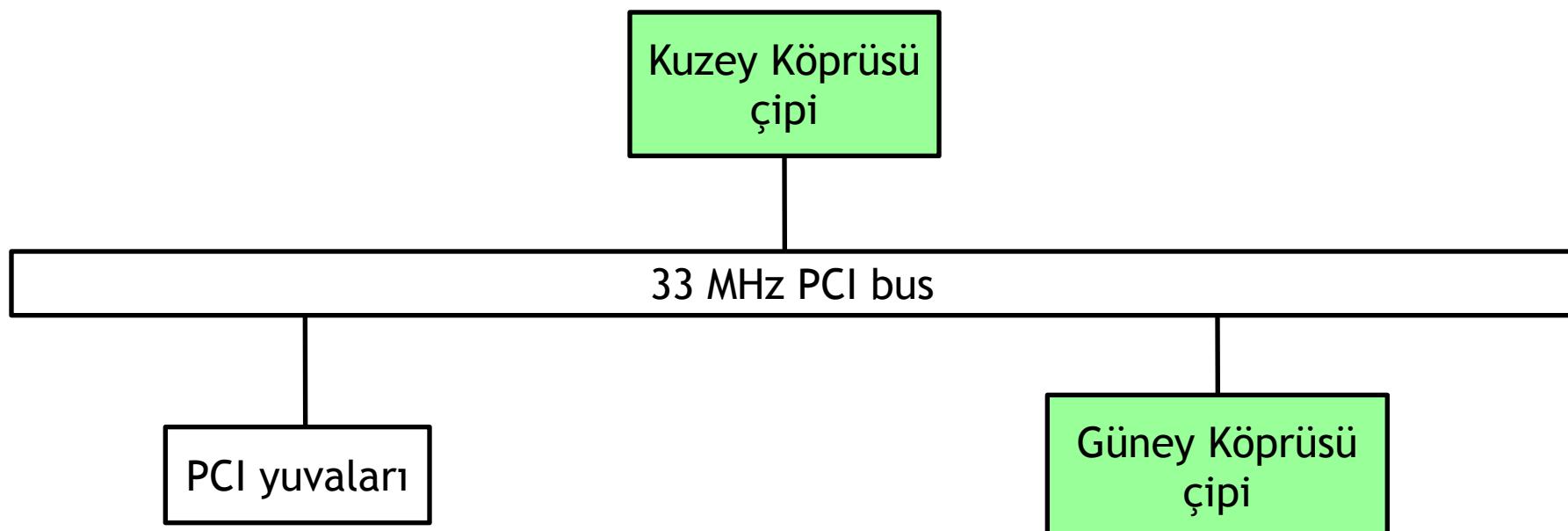


PCI

- **Peripheral Component Interconnect** bir senkron 32-bit bus'tır ve 33MHz hızda çalışır.
 - Ya da 64-bit ve 66MHz
- **Maksimum bant genişliği** yaklaşık 132 MB/sn.

$$33 \text{ milyon transfer/sn} \times 4 \text{ byte/transfer} = 132\text{MB/sn}$$

- Ana karttaki PCI yuvalarına takılan kartlar direkt PCI bus bağlantılı olur.
- Daha eski ve yavaş kartlara ISA denirdi ve Kuzey Köprüsüne bağlıydılar.

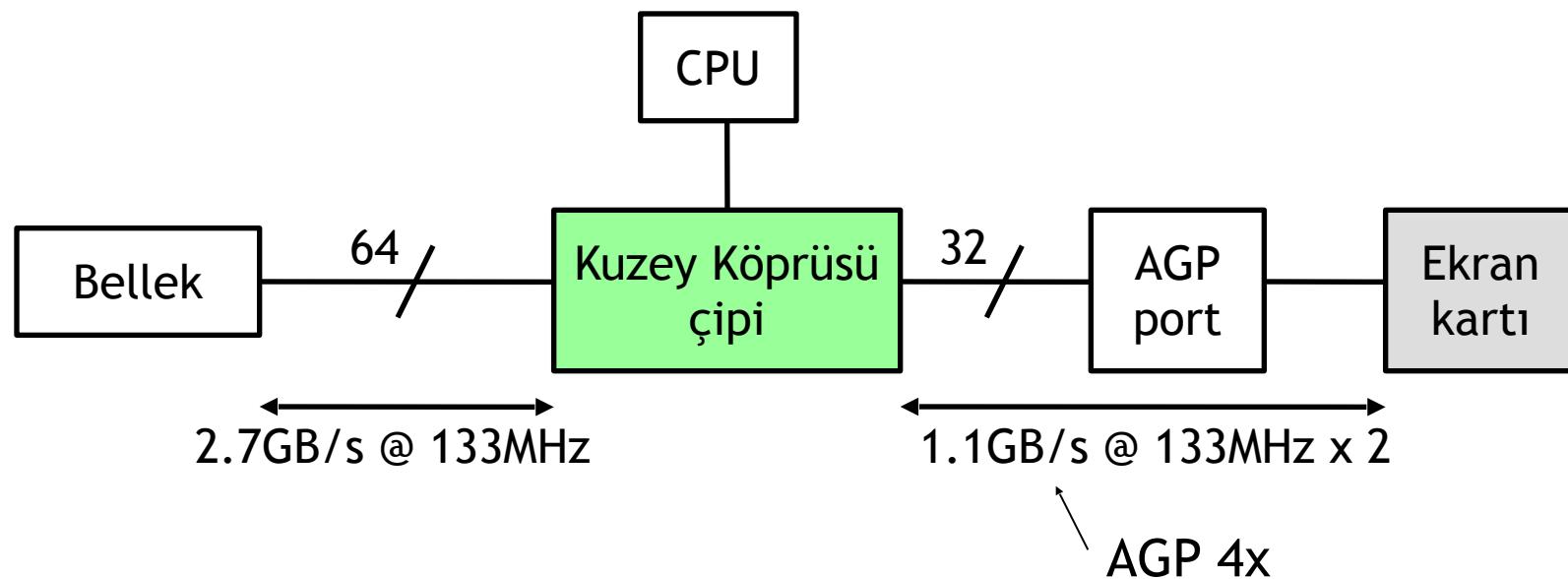


Frekans Derken?

- CPU'la aslında iki frekansla çalışırlar:
 - **İç frekans** CPU içi saat sinyalini verir, biz de genelde bunu konuşuyor olacağız.
 - **Dış frekans** işlemci bus hızıdır, CPU veri transferini ne hızda yapar onu verir.
- İç frekans, dış frekansın belli bir katıdır:
 - Bir 2.167 GHz Athlon XP, bir 166 MHz bus kullanır ($166 \times 13 = 2.167$)
 - Bir 2.66 GHz Pentium 4, bir 133 MHz bus kullanır (133×20)
 - *Eğer teknik dokümanlarda 533MHz'den bahsediliyorsa. Her saat sinyalinde 4 veri taşındığı içindir (133*4).*
- İşlemci ve bellek veri hızları ile PCI'ın kapasitesi arasında dağlar kadar fark var:
 - Bir 8byte genişlikte “533 MHz” bus, the Pentium 4, 4.3GB/sn 'ye ulaşır.
 - Bir 166MHz Double Data Rate (DDR-333) bellek 2.7GB/sn 'ye ulaşır.

Kuzey Köprüsü

- CPU ile bellek arasındaki bağlantıya daha çok önem veriliyor.
 - Burada “bus” aslında biraz yanlış bir isim, çoğu sistemde noktadan noktaya direkt bağlantı var.
 - Ekran kartları da önemli miktarda bant genişliği isterler, Accelerated Graphics Port (AGP) ekran kartını direkt belleğe bağlar.
- Tüm CPU-bellek trafiği “kuzey köprüsü” çipinden geçer, bazen çok ısınıyor (soğutucu takılır).



Dış 'Bus'lar

- **Dış Bus'lar (ing:External buses)** bize tak-çıkar aygıtları bağlamakta yardımcı olurlar.
 - Bunun sonucu onlar dizaynları iç bus'lardan biraz farklıdır.
- Örneğin iki modern dış bus, **Universal Serial Bus (USB)** ve **FireWire**'dır. Aşağıdaki özellikleri sağlamaları beklenir:
 - **Tak-çıkar (ing:Plug-and-play)** bir takım anahtar ve jumper takmalar yerine, aygıtların yazılımla tanımlanması.
 - **Hot plugging** yani ekleme ve çıkartma yaparken makinin kapatılması gerekmeyen.
 - Kablo **güç** te taşısun! Güç için ek kablo can sıkar.
 - **Seri bağlantı** kullanılsın, böylece kablo ve kafası küçük olur.

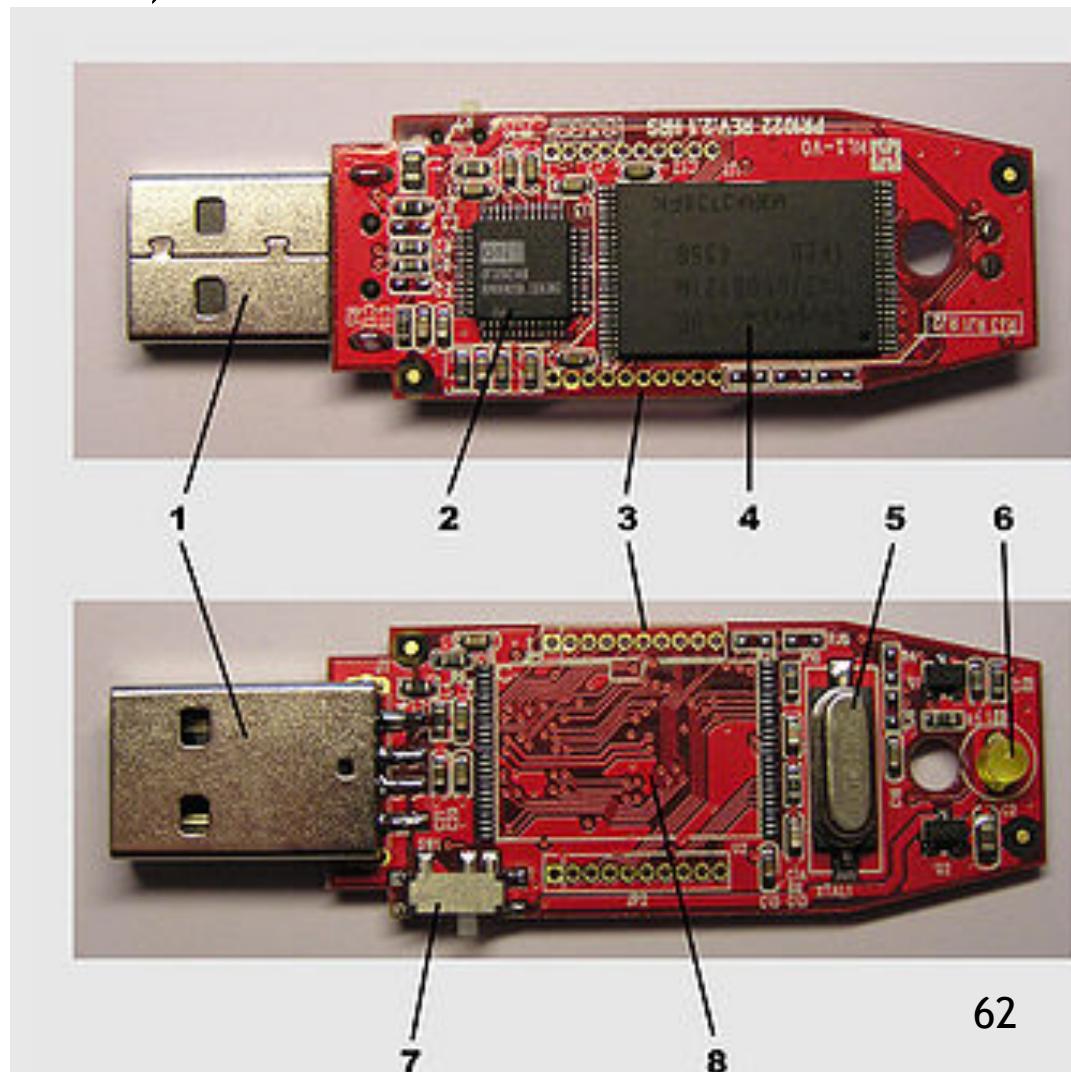


Seri/Paralel Savaşı Bitti

- Neden modern dış bus'lar **seri** bir zamanlar **paraleldiler**?
- Genelde, daha çok kablo bant genişliğini arttırmak ve taşıma zamanını (ing:latency) diye düşünürüz, peki doğru mu?
 - Evet, ancak sadece ciddi farklı frekanslarla çalıştırılırlar ise.
- İki fiziksel sebep seri hatların önemli derecede hızlı çalışmalarını sağlar:
 - Seri iç bağlantıları, sinyalin kablolardan geçerken birbirlerini **bozmasına** neden olur ki bu çok ciddi bir sorundur.
 - **Bükülme** de problem yaratır; paralel taşınmaya çalışılan bitler farklı zamanlara yerine ulaşır.
- Seri hatlar kendisini kanıtladığı için iç bus'ların vazgeçilmezi oldular:
 - **Serial ATA** hard disklerimizi bağlıyor.
 - **PCI-Express** PCI bus yerine geçti ki o da seri hatlar kullanıyor.

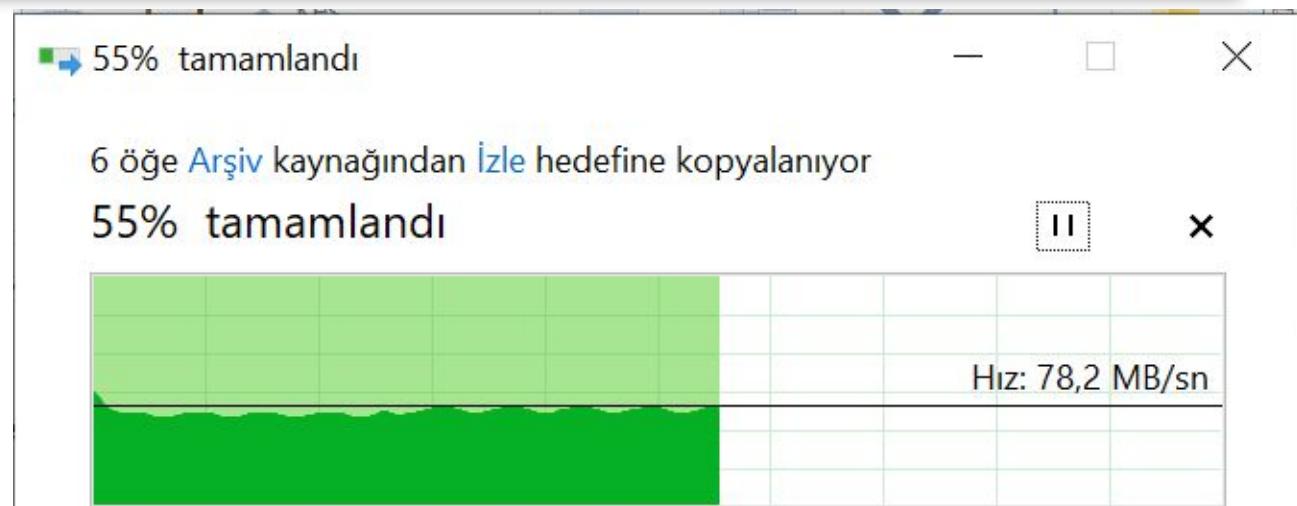
Flash Bellekler

- İlk 128 MB flash bellek kullanmıştım.
- 2018'de 1TB bellekler var ama hala 4.000 TL civarında.
- 2018'de 128GB bellek (USB 3.1) 200-300 TL civarında.
- En çok 32-64GB kullanımdadır (<100 TL).
- Veri aktarım hızları 5MB/sn ile 400MB/sn arasında değişiyor.
- İç yapısı (örnek):
 1. USB konektör
 2. USB kontrol ünitesi
 3. Test uçları
 4. Flash bellek çipi
 5. Kristal osilatör
 6. LED
 7. Yazma koruma tuşu
 8. İkinci bir çip yeri



Performans Örnekleri

- Harici disk → SSD
 - 78 MB/sn
- Hızlı flaş → SSD
 - 216 MB/sn



Kalan süre: Yaklaşık 20 saniye
Kalan öğe: 2 (2,85 GB)

Performans Örnekleri

- Aynı diske birden çok kopyalama
 - Anında hız düşer

64% tamamlandı



- Çoklu kopyalama bittiğe
— Hız artar

41% tamamlandı



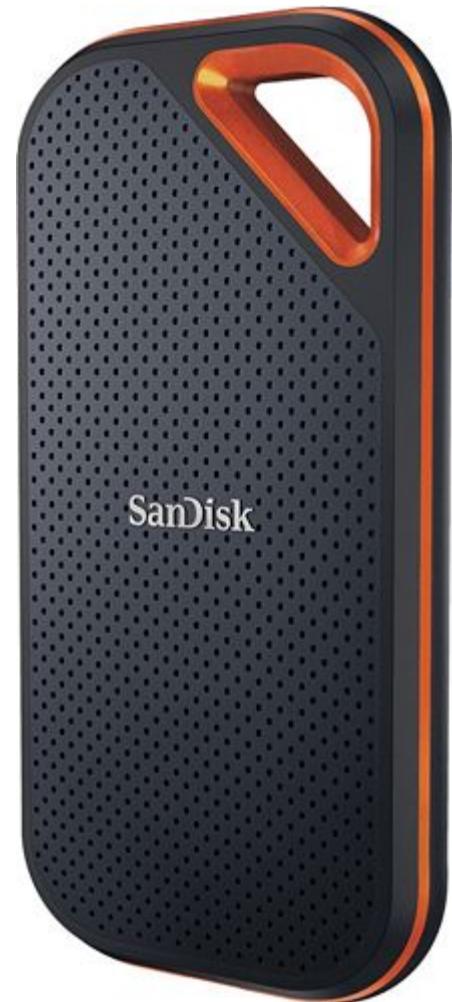
- Fragmentation veya binlerce dosya durumu
— Hız dalgalandır

87% tamamlandı



Flash mı, harici SSD mi?

- Sandisk'te 250 GB ile 4 TB arası harici SSD'ler var.
- Extreme 550 MB/sn, Extreme Pro 1050 MB/sn, V2 olanlar 2000 MB/sn hızlara sahipler.
- Ekim 2022'de
 - Extreme olanlar 500GB=1800, 1TB=2600 TL,
 - Extreme Pro olanlar 500=1800, 1TB=4300 TL,
 - V2 500=1950, 1TB=4500 TL, 2TB=6500 TL idi.
- Ucuzlayacak diye beklerken, dolar kuru değişti, ama kapasiteler baya arttı.
- Aslında flash belleklerde bilgisayarınızı SSD'si ile uyumlu çalışan ve **200 MB/sn hızla okuyan** flash'lar bile varken, artık gidip te **30 MB/sn** harici HDD'leri almayın...



SanDisk
Extreme PRO®

USB 3.1 Solid State Flash Drive

Transfer a full-length 4K movie in less than 15 seconds¹

File encryption for private docs with SanDisk SecureAccess™ software²



SanDisk®