Bilgisayar Mimarileri
Ön Bellek - Cache Memory
Sanal Bellek - Virtual Memory

Kevser Nur Çoğalmış

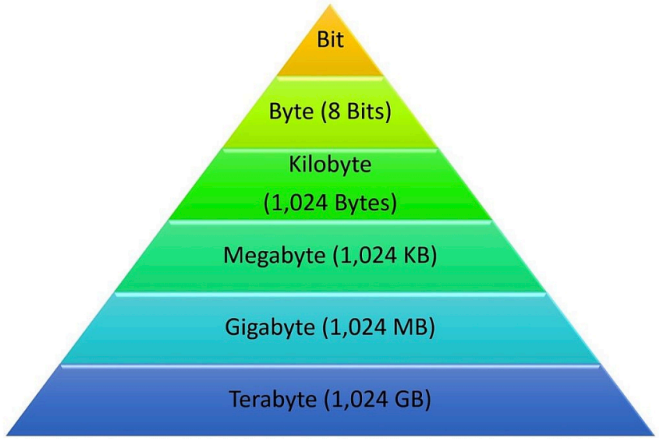
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

2025

RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ

Bellek

- Bellek bir bilgisayarın en temel parçasıdır.
- Bellek, bilgisayarda çeşitli programların çalıştırıldığı, geçici veya kalıcı bilgilerin bulunacağı hafıza alanıdır.
- Veri birimi byte'dır. 1 bit 0 yada 1'den oluşur. 1 Byte ise 1 karakterdir.
- Bir byte, 8 bittir.
- Bir kelime kaç bittir?



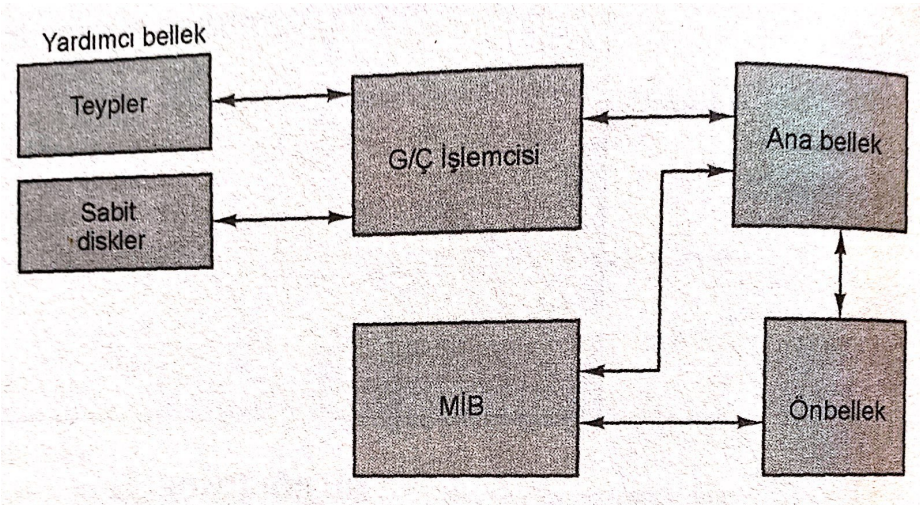
Bellek

- Bilgisayar üzerinde temel olarak RAM ve ROM olmak üzere iki çeşit bellek bulunur.
- ROM(Read Only Memory) sadece okunabilir bellektir. Bilgiler okunabilir, fakat üzerinde değişiklik yapılamaz. Bu bilgiler elektrik kesilse dahi silinmezler.
- İstenilen bölgesine bilgi depolayabilir, yazılabilir, okunabilir ve silinebilir. Elektrik kesilmesi durumunda tüm bilgiler silinir. RAM, ROM'a göre oldukça pahalıdır.

Yardımcı Bellek (Auxiliary memory - Secondary storage)

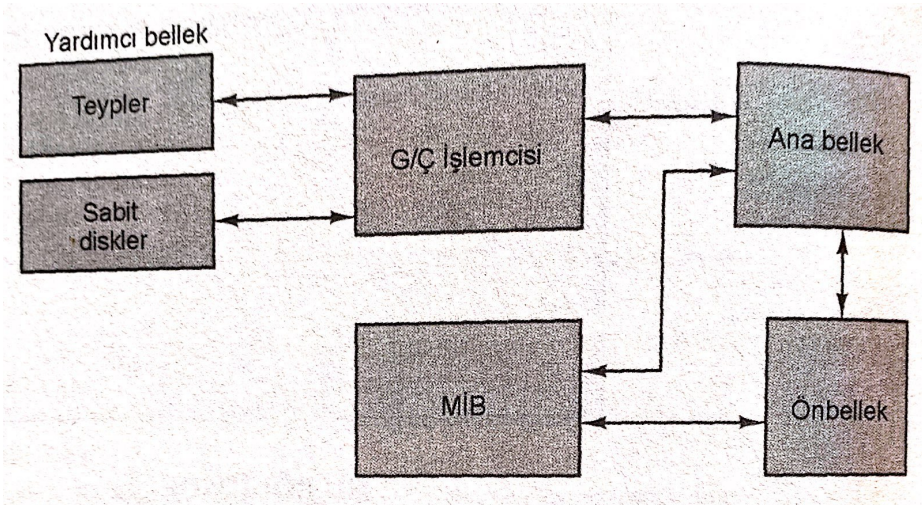
- Ana bellek dışında farklı bellek bileşenleri bilgisayarın performansını arttırırlar.
- Çünkü ana bellek tüm programların tutulması için yeterli olmayabilir. Ayrıca işlemci bellekte tutulan tüm bilgilere her zaman ihtiyaç duymaz.
- CPU ile doğrudan haberleşen bellekler ana belleklerdir.
- Yedekleme görevi gören bellekler ise yardımcı belleklerdir.
- Bunlar yardımcı bellek bileşenleri olarak geçerler.
- En çok kullanılan yardımcı bellekler sabit diskler, teypler ve flash disklerdir.

Bellek Hiyerarşisi



- En yavaş fakat en yüksek kapasiteye sahip olanlar manyetik teyplerdir. Değiştirilebilir dosyaları tutarlar
- Sonra sabit diskler gelir. Yedekleme için kullanılırlar.
- Ana bellek hiyerarşinin merkezinde bulunur. CPU ile direk haberleşebilir.

Bellek Hiyerarşisi



- G/Ç İşlemcisi yardımıyla ana bellek yardımcı belleklerle de haberleşir.
- Ana bellekte bulunmayan programlar CPU tarafından istenildiğinde, yardımcı bellekten ana belleğe getirilir.
- Aynı şekilde CPU'nun ihtiyaç duymadığı veriler de ana bellekten yardımcı belleğe aktarılır.

Primary Storage vs. Secondary Storage

Primary Storage	Secondary Storage
Main memory or internal memory	Auxiliary memory, external memory, or secondary memory
RAM, ROM, cache, PROM, EPROM	HDD, CD, DVD, floppy disks, flash drives
Temporarily stores data while in use	Permanently stores data
Volatile memory	Non-volatile memory
CPU directly accesses data	CPU does not directly access data
Power cuts cause data loss	Power cuts do not cause data loss
Limited storage capacity	Expansive and scalable storage capacity
Faster data access	Slower data access

Ön Bellek

- Bazen çalışan programların hızını artırmak için kullanılan yüksek hızlı bellek parçasıdır.
- İşlemcilerin artan hızına rağmen, ana bellekten gelmesi gereken veriler bu hıza erişmekte sorun yaşarlar.
- Bunu engellemek için işlemci ile aynı saat frekansında çalışan bellekler kullanılmaktadır.
- Ön bellek, işlemci hızı ile ana belleğe erişim zamanı arasındaki farkı en aza indirgemek için yerleştirirler.
- Ön bellek çalışmakta olan programa ait komutların, verilerin geçici olarak saklandığı yüksek hızlı hafızalardır.
- Ön bellekler önceleri işlemci dışında yer almış daha sonra işlemci içine yerleştirilmiştir.
- Ön bellek içerisinde o anda çalışmakta olan program parçaları ile bu programın sıklıkla ihtiyaç duyduğu verileri tutmaktadır.

Ön Bellek

- G/Ç işlemcisi yardımcı bellek ile ana bellek arasındaki bilgi aktarımını sağlarken, ön bellek de aynı işi ana bellek ile işlemci arasında gerçekler.
- Böylece her bir bileşen bellek hiyerarşisinde ekonomik nedenlerle farklı bir seviye ile ilişkilendirilir.
- Belleğin saklama kapasitesi arttıkça, bit başına düşen bilgi saklama maliyeti (the cost per bit for storing binary information) azalır ve belleğe erişim süresi artar.
- Aynı zamanda yardımcı belleğin kapasitesi fazladır ve maliyeti düşüktür, fakat ana belleğe kıyasla bilgiye erişim hızı yavaş, süresi uzundur.
- Ön bellek kapasite olarak küçük, daha pahalı, fakat bilgiye erişim hızı çok yüksek, süresi de kısadır.
- Mümkün olan en fazla erişim hızına sahip olurken, tüm bellek sisteminin maliyetini de düşürmektir.

Yardımcı Bellek vs. Ön Bellek

- Yardımcı bellekler ve ön bellek farklı amaçlar için kullanılmaktadır.
- Ön bellek veri ve programların en çok kullanılan kısımlarını tutar. Yardımcı Bellek ise o anda CPU tarafından kullanılmayan kısımları tutar.
- CPU ana belleğe ve ön belleğe direk erişebilirken, yardımcı belleğe erişemez. Ön bellek ile ana bellek arasındaki erişim oranı genellikle 1/7'dir. Yani bir ön belleğin 100 ns erişim süresi var iken, ana belleğin erişim süresi 700 ns'dir.
- Yardımcı bellekten ana belleğe veri aktarımı blokların aktarımı şeklinde gerçeklenir.
- Yardımcı belleğin erişim süresi ise ana belleğin 1000 katı civarındadır.

Ön Bellek

- Bilgisayarlarda çalışmakta olan programlar incelendiğinde, belleğe erişimin belirli zaman aralıklarında, belli bölgelere yapıldığı gözlemlenmiştir.
- Bu durum locality of reference (kaynakların yerelliği) olarak adlandırılır.
- Doğrusal bir akışı olan tipi bir bilgisayar programı çıkça döngü veya alt program çağrıları yapar.
- Bir program bir döngü içine girdiğinde, işlemci bellekte sürekli aynı buyrukları çalıştırır.
- Yine bir alt program her çağrıldığında, bellekten aynı buyruk kümesi okunup, icra edilir.

Ön Bellek

- Döngü ve alt program çağrısı işlemleri belleğin aynı kısımlarını kullanmaya eğilimlidirler.
- Yine aynı şekilde programların veri erişimleri de çoğunlukla belleğin aynı bölgesinde bulunan verilere olur.
- Bu gözlemler sonucu, bilgisayarın bir program çalıştırırken kısa zaman aralıkları içerisinde belleğin aynı bölgelerindeki buyruk ve verilere erişmek istediği söylenebilir.

Ön Bellek

- Ön bellek bu sıkça erişilen bilgileri tuttuğu taktirde programların icra süreleri de azalmış olur.
- Ön bellek CPU ile ana bellek arasında yerleştirilmiştir.
- Erişim süresi ana belleğin 5'te biri ile 10'da biri arasındadır.
- Ön bellek bellek hiyerarşisindeki en hızlı bileşendir.
- Tasarımdaki temel fikir en sık kullanılan buyruk ve verilerin burada tutulmasıdır.

Ön Bellek Çalışma Prensibi

- CPU belleğe erişmek istediğinde önce ön belleğe bakar.
- İstenilen bilgi ön bellekte ise buradan okunur.
- Değil ise, CPU ana belleğe erişir.
- Ana bellekte erişilip okunan bilginin bulunduğu blok ön belleğe aktarılır.
- Blok boyutu değişkendir (1-to-16 adjacent words)

Ön Bellek - Hit Ratio

- Ön belleğin performansı ‘hit ratio’ (isabet, bulma oranı) ile ölçülür.
- CPU belleğe erişmek istediğinde aradığını ön bellekte bulursa hit (isabet), bulamazsa miss (kayıp) olur.
- İsabet oranı (hit ratio) = isabet (hit) / Toplam erişim isteği (isabet + kayıp)
- İsabet oranı (hit ratio) = Ön bellek erişim sayısı / Ön bellek erişim sayısı + Ana bellek erişim sayısı
- Kayıp oranı (miss ratio) = kayıp (miss) / Toplam erişim isteği (isabet + kayıp)
- Örneğin, 45 tane hafıza erişim talebi var, 21 tanesi ön bellekten karşılanmış olsun. O zaman;
- isabet = 21 / 45 = %47, Kayıp = 24 / 45 = %53 olur.
- Yapılan gözlemlerle bu oranın çoğunlukla 0.9 olduğu tespit edilmiştir.

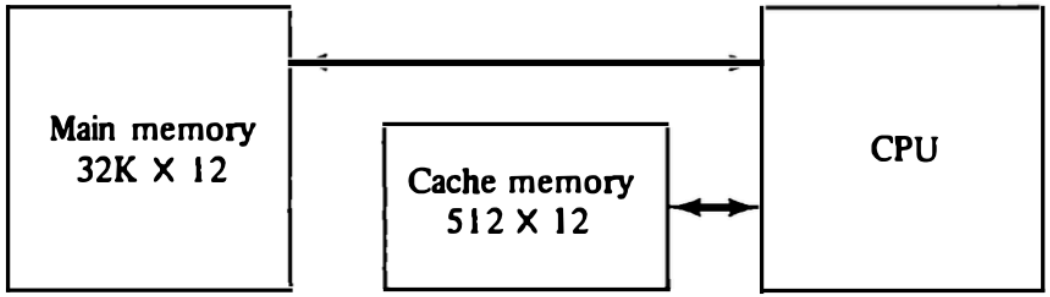
Ön Bellek - Erişim Süresi

- Ortalama bellek erişim süresi ön bellek kullanımıyla düşürülebilir.
- Eğer isabet oranı yüksek ise, CPU erişimlerinin çoğu ön belleğe olur.
- Böylece sistemin ortalama erişim süresi ön belleğinkine yaklaşmış olur.
- Örneğin, ön bellek erişim süresi 100 ns olan bir bilgisayarın bellek erişim süresi 1000 ns olsun. İsabet oranı 0.9 ise, ortalama bellek erişim süresi yaklaşık 200 ns olur.

Haritalama (Mapping)

- Verilerin ana bellekten ön belleğe aktarılmasına (transformation) haritalama (mapping) denir.
- 3 tip haritalama vardır:
  - İçerik adreslemeli haritalama (Associative mapping)
  - Doğrudan haritalama (Direct mapping)
  - Kümelenmiş içerik adreslemeli haritalama (Set-associative mapping)

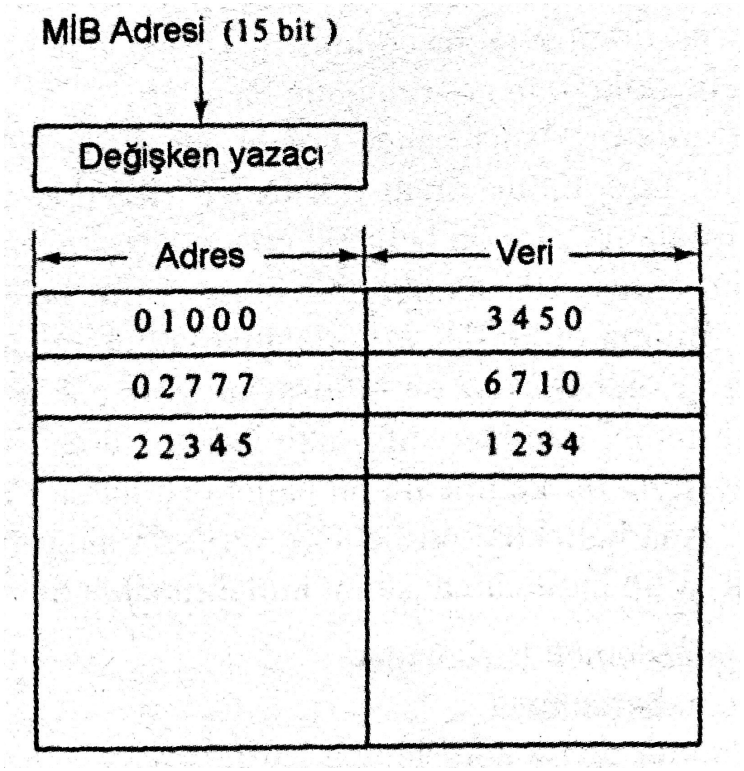
Haritalama (Mapping)



- Ön bellekte bulunan her kelimenin ana bellekte bir kopyası bulunur.
- CPU her iki bellekle de haberleşir.
- Önce ön belleğe … bit adres yollar.
- Eğer aranan kelime burada var ise … bit veri okunur.
- Yok ise kelime ana bellekten okunup ön belleğe aktarılır.

İçerik Adreslemeli Haritalama

- En hızlı ve esnek ön bellek içerik adreslemeli bellektir.

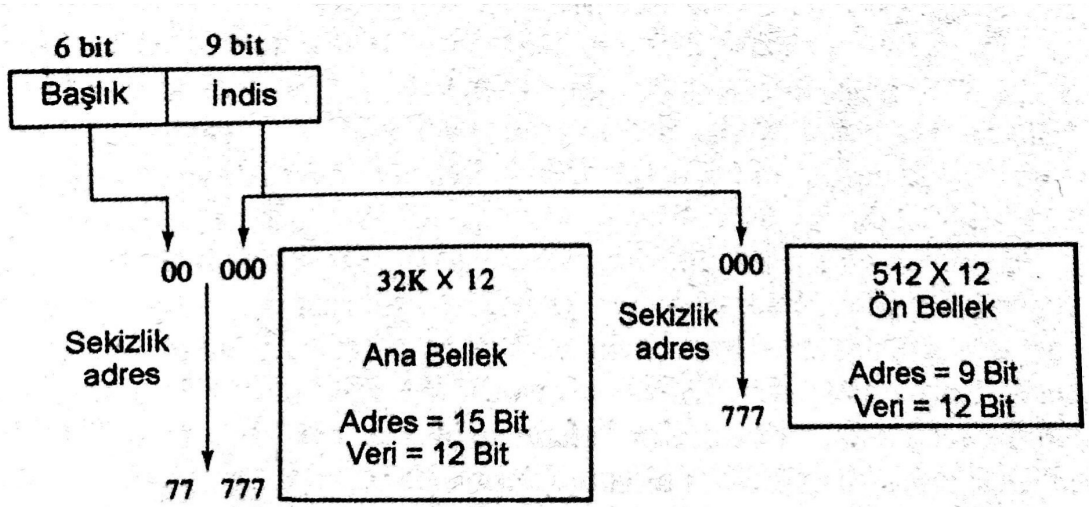


İçerik Adreslemeli Haritalama

- Bellek hem adresi hem de veriyi tutar.
- Böylece ön bellekte herhangi bir yerde herhangi bir ana bellek kelimesi tutulabilir.
- Şekilde 3 adres ve 3 veri vardır.
- Her bir adres sekizlik tabanda 5 basamaklı sayılarla, karşılık gelen her bir veri de 4 basamaklı sekizlik tabandaki sayılarla verilmiştir.
- 15 bitlik adres (CPU), değişken yazacı (argument register) yazılır ve bellek bu adresi arar.
- Bulunursa karşılık geldiği 12 bitlik veri okunur ve CPU'ya gönderilir.
- Bulunamazsa veri için ana belleğe erişilir. Ana bellekte karşılık gelen adres-veri çifti ön belleğe transfer edilir.
- Ön bellek dolu ise çalıştırılan farklı algoritmalar ile kullanılmayan bilgi silinip yer açılır.

Doğrudan Haritalama

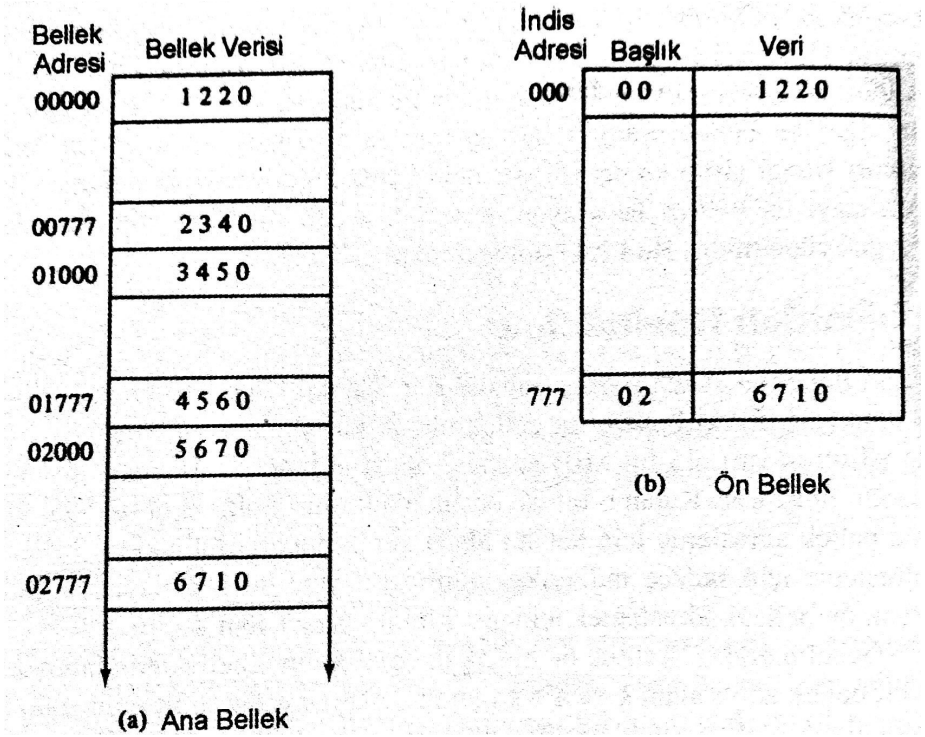
- İçerik Adreslemeli Bellekler RAM'e göre pahalıdırlar.
- Çünkü her bir hücre ile ilişkilendirilmiş devreler gereklidir.
- RAM belleği ön bellek olarak kullanmak istersek;



Şekil 12.12 Ana ve ön bellek adresleri arasındaki ilişki

- Ön bellek: 2^k ve Ana bellek: 2^n kelime ise;
- n bit, k ve $n - k$ olarak 2'ye ayrılır.

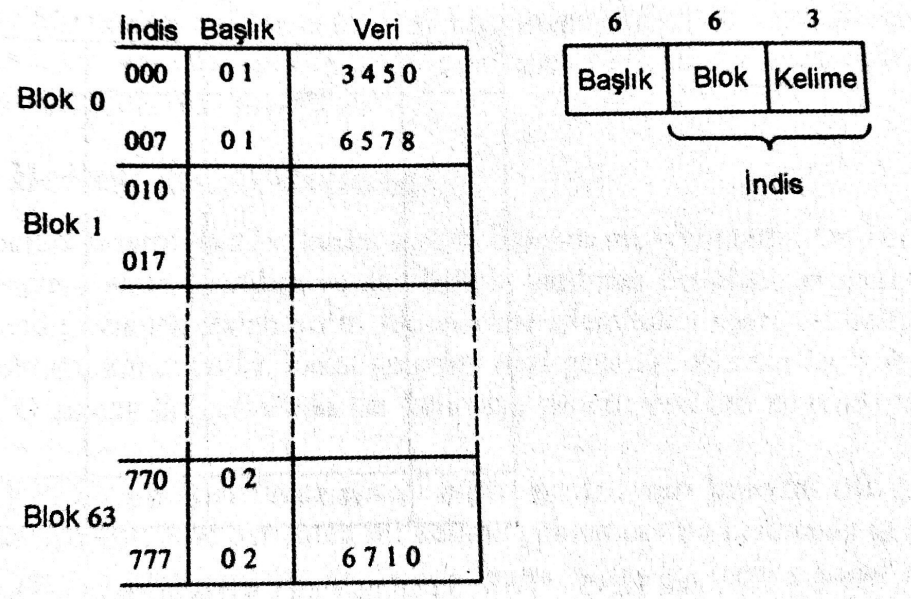
Doğrudan Haritalama



- Örnek: MİB 02000 adresindeki veriye erişmek istiyor olsun. (1 kelimelik tek blok için)

Doğrudan Haritalama

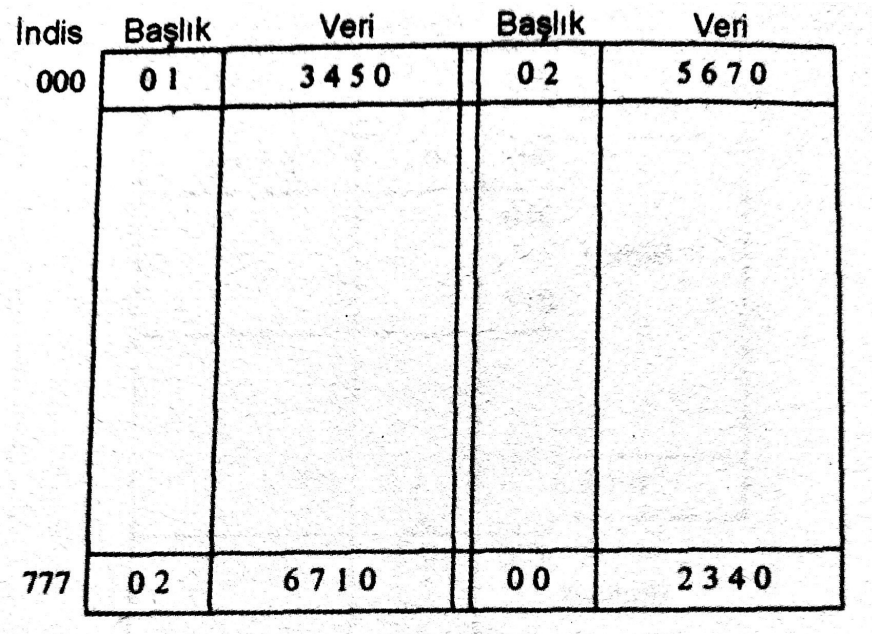
- Diyelim ki bilgisayarda her blok 8 kelimeden oluşuyor olsun. (block size)
- İndis kısmı iki bölüme ayrılır: blok ve kelime alanı.



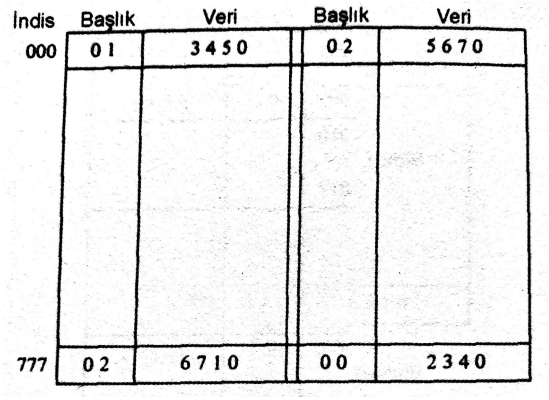
- Adreslerinde aynı indis fakat farklı başlık bulunan iki kelime aynı anda ön bellekte bulunamaz.

Kümelenmiş İçerik Adreslemeli Haritalama

- Doğrudan adreslemenin geliştirilmiş şeklidir.
- Ön bellek içerisinde aynı indisli birden fazla kelimenin bulunmasına olanak sağlar.
- Her bir veri kelimesi başlığı ile beraber depolanır ve bunlar bir küme oluşturur.



Kümelenmiş İçerik Adreslemeli Haritalama



- CPU bir bellek isteminde bulunduğunda adresin indis kısmı ile ön belleğe erişir.
- İlgili indisteki başlık alanları, MİB'in istemindeki ile karşılaştırılır.
- Aynı ise veri okunur.
- Ne kadar çok küme olursa, kelimenin ön bellekte olma ihtimali (hit ratio) o kadar artar. Fakat küme sayısının artması ön bellekte tutulan kelime bit sayısını arttırdığından karşılaştırma mantığını daha da karmaşık bir hale sokar.

Ön Belleğe Yazma

- 2 yolu vardır.
- Doğrudan doğruya yazma (write-through): Ana bellek her yazma işlemi ile güncellendiğinde, ön bellekte güncellenen adresteki bilgiyi içeriyorsa güncellenir. Böylece ana bellek ve ön bellek aynı bilgilere sahip olurlar.
- Geri Yazma (write-back): Yazma istemi yanlızca ön belleğe yapılır ve bir bayrakla işaretlenir. Bu kelime ön bellekten silineceği zaman ana belleğe yazılır.

Ön Belleğin İlklendirilmesi

- Ön bellek bilgisayara elektrik akımı verildiğinde veya tüm yardımcı bellekten programlar ana belleğe yüklendiği zaman ilklendirilir.
- İlklendirme sonrası ön belleğin boş olduğu kabul edilir, fakat gerçekte durum bu olmayıp, ön bellek geçersiz eski verileri tutuyor olabilir.
- Böyle bir durumda, her bir kelime geçerli (valid) veya geçersiz (not valid) olduğunu gösteren bir bit tutabilir.
- İlklendirme esnasında tüm hücrelerde bu bit 0 yapılır.
- Kelime bellekten ilk okunup ön belleğe yazıldığında bu bit 1'e set edilir. Ön bellek tekrar ilklendirilmediği sürece de böyle kalır.
- Eğer bu bit bir esnada 0 olur ise, yeni yazılacak kelime bunun yerine yazılır.

Sanal Bellek Nedir?

- Fiziksel bellek kapasitesinden bağımsız olarak daha büyük bir adres alanı sunar.
- Bellek yönetimini kolaylaştırır, çoklu görevlerin aynı anda çalışmasına izin verir.
- Programların, bellek boyutundan bağımsız şekilde çalışabilmesini amaçlar.
- Bellek alanlarının paylaşımını ve korumasını sağlamayı amaçlar.

Sanal Belleğin Temel Kavramları

- Sanal Adres: İşlemci tarafından üretilen mantıksal adres alanıdır. İşlemcinin adresleme yeteneğine göre boyutlanır.
- Fiziksel Adres: Ana bellekte kullanılan gerçek verilerin gerçek adresleridir.
- Sayfa (Page): Sanal bellekteki sabit boyutlu bloklardır.
- Çerçeve (Frame): Fiziksel belleğin sabit boyutlu bloklarıdır.
- Bellek Haritalama: Sanal adreslerin fiziksel adreslere çevrilmesidir.

Sanal Bellek Yapısı

- Her işlem için ayrı bir sanal adres uzayı sağlanır.
- İşlemlerin birbirinden izole çalışmasını sağlar.

Sayfalama (Paging)

- Belleği sabit boyutlu bloklara bölmek, adreslemeyi ve yönetimi kolaylaştırır.
- Sanal bellek, sabit boyutlu sayfalara bölünür.
- Fiziksel bellek, sabit boyutlu çerçevelere (frames) ayrılır.
- Sanal adresler, sayfa tablosu kullanılarak fiziksel adreslere çevrilir.
- Adres Formatı:
- Sayfa Numarası: Sanal adresin yüksek kısmı.
- Sayfa İçi Ofset: Sayfa içerisindeki spesifik konum.
- Örnek: Sanal adres: 0x12345 =>
- Sayfa Numarası: 12, Ofset: 0x345

Sayfa Tablosu (Page Table)

- Her sanal sayfanın fiziksel çerçeve numarasını saklar.
- Sayfa Tablosu Girdileri:
- Geçerlilik Biti: Sayfanın bellekte olup olmadığını gösterir.
- Çerçeve Numarası: Sayfanın fiziksel bellekteki yeri.
- Diğer Bilgiler: Koruma bitleri, önbellek durumu, vb.

Sayfa Hataları (Page Faults)

- Sayfa Hatası, işlemcinin bir sayfayı istediğinde bu sayfanın fiziksel bellekte bulunmaması durumudur.
- Sayfa Hatası Süreci:
- Sayfa tablosunda kontrol edilir.
- Diskten ilgili sayfa yüklenir.
- Sayfa tablosu güncellenir.
- Sayfa hatası disk erişimini gerektirir ve performansı düşürür.

Sayfa Değiştirme Algoritmaları

- Bellek Dolu Olduğunda: Yeni sayfa için yer açmak amacıyla eski sayfalar fiziksel bellekten çıkarılır.
- Algoritmalar: FIFO (First In First Out): İlk gelen ilk çıkar. LRU (Least Recently Used): En son kullanılan çıkarılır. LFU (Least Frequently Used): En az kullanılan çıkarılır.
- Performans Karşılaştırması: Algoritmaların etkinliği, sistem yüküne ve erişim düzenine bağlıdır.