

**İ.T.Ü. Bilişim Enstitüsü Yüksek Başarımlı
Hesaplama Sistemleri Üzerinde Başarım Testleri**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onan GÜREN

Anabilim Dalı: Bilişim
Programı: Hesaplamalı Bilim ve Mühendislik

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hasan DAĞ

Haziran 2006

**İ.T.Ü. Bilişim Enstitüsü Yüksek Başarımlı
Hesaplama Sistemleri Üzerinde Başarım Testleri**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Onan GÜREN

Anabilim Dalı: Bilişim
Programı: Hesaplamalı Bilim ve Mühendislik

Haziran 2006

**İ.T.Ü. Bilişim Enstitüsü Yüksek Başarımlı
Hesaplama Sistemleri Üzerinde Başarım Testleri**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onan GÜREN

702021006

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : Mayıs 2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hasan DAĞ

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Serdar ÇELEBİ (İ.T.Ü.)

: Yrd. Doç. Dr. Turgay ALTILAR (İ.T.Ü.)

Haziran 2006

ÖNSÖZ

Çalışmanın olgunlaşması ve ilerlemesinde değerli katkılarını dolayı danışmanım Prof. Dr. Hasan Dağ'a teşekkür ederim. Ayrıca çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Ahmet Cem Mercan'a, Ufuk Turuncu'ya, Özden Akıncı'ya, Hakan Gürel'e ve Kenan Gürsoy'a sabırları için teşekkür ediyorum. Hesaplamalı Bilim ve Mühendisliği Program Koordinatörü Prof.Dr. Serdar ÇELEBİ'ye ve Hesaplamalı Bilim ve Mühendislik Programı öğretim üyelerine, bilimsel çalışmalarımı destekleyen T.C. Devlet Planlama Teşkilatı'na teşekkür ederim.Son olarak her zaman yanımda olan sevgili aileme herşey için teşekkür ediyorum. Hayatımın gülen yüzü Omayra Ada Güren iyi ki varsın.

Haziran 2006

Onan GÜREN

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1 GİRİŞ	1
2 BENCHMARK	3
2.1 High Performance Computing Challenge Benchmark (HPCC) . . .	4
2.2 High Performance Linpack	4
2.3 DGEMM	6
2.4 Fast Fourier Transform (FFT)	8
2.5 Paralel Matris Devrik Alma (PTRANS)	9
2.6 STREAM	9
2.7 Rastgele Erişim (RandomAccess)	10
2.8 Haberleşme Gecikme süresi ve Bantgenişliği	12
3 İTÜ-GRID sistemi ve HPCC Benchmark test sonuçları	15
3.1 İTÜ Grid Yapısı	15
3.2 HP Proliant DL360 G4 Sunucusu	15
3.3 HP Proliant DL580 G3 Sunucusu	17
3.4 Sun Fire V210 Sunucusu	18
4 HPCC BENCHMARK TEST SONUÇLAR	20
4.1 HPL Test Sonuçları	20
4.2 DGEMM Test Sonuçları	24
4.3 PTRANS Test Sonuçları	29
4.4 STREAM Test Sonuçları	33
4.5 Rastgele Erişim (RandomAccess) Test Sonuçları	36

4.6 FFT Test Sonuçları	38
4.7 GECİKME ve BANTGENİŞLİĞİ Test Sonuçları	39
5 Sonuçlar	49
KAYNAKLAR	50

TABLO LİSTESİ

Tablolar

2.1	PxQ grid yapısı	5
4.1	DL360 HPL test sonuçları	22
4.2	DL580 HPL test sonuçları	23
4.3	Stargate HPL test sonuçları	24
4.4	DL360 DGEMM test sonuçları	26
4.5	DL580 DGEMM test sonuçları	28
4.6	Stargate DGEMM test sonuçları	29
4.7	DL360 ve DL580 PTRANS test sonuçları	31
4.8	Stargate PTRANS test sonuçları	32
4.9	STREAM test sonuçları	34
4.10	Rasstgele Belleğe Erişim test sonuçları	37
4.11	Stargate Rastgele Belleğe Erişim test sonuçları	38
4.12	DL360 MPI FFT test sonuçları	39
4.13	DL580 MPI FFT test sonuçları	39
4.14	Stargate MPI FFT test sonuçları	40
4.15	DL360 Haberleşme süreleri test sonuçları	44
4.16	DL580 haberleşme süreleri test sonuçları	45
4.17	DL360 bantgenişliği test sonuçları	46
4.18	DL580 bantgenişliği test sonuçları	47
4.19	Stargate gecikme ve bantgenişliği test sonuçları	48

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

2.1	Sağ taraflı LU ayrıştırması	6
2.2	Rastgele Erişim Algoritması	11
3.1	Bilişim Enstitüsü YUBAHEM sistemi Genel Yapısı	16
3.2	DL360 Proliant G4 sunucusu yapısı	17
3.3	Intel E7520 çipset yapısı	17
3.4	Intel E8000 çipset yapısı	18
3.5	SunFire V210 anakart blok diyagramı	19
4.1	HPL test sonuçları	24
4.2	DL360 ve DL580 DGEMM Giganet test seti sonuçları	29
4.3	DL360, DL580 DGEMM Linpack+Giganet test seti ve Stargate Dgemm sonuçları	30
4.4	DL360 ve DL580 Gigabit ve Myrinet test seti ve Stargate PTRANS test sonuçları	32
4.5	DL360 STREAM test sonuçları	34
4.6	DL360 DL580 StarSTREAM test sonuçları	35
4.7	DL360 DL580 SingleSTREAM test sonuçları	35
4.8	Stargate STREAM test sonuçları	36
4.9	DL360 ve DL580 sistemlerine ait Rastgele Belleğe Erişim test sonuçları	37
4.10	MPI-FFT test sonuçları	40
4.11	Ping-Pong haberleşme gecikme süreleri	41
4.12	Düzgün Halka haberleşme gecikme süreleri	42
4.13	Rastgele Halka haberleşme gecikme süreleri	42

ÖZET

Küme(Cluster) sistemleri dünyadaki yüksek başarılı hesaplama sistemleri içinde giderek artan bir yer almaktadır. İstanbul Teknik Üniversitesi Grid Sistemi (İTÜ-Grid) yeni kurulmakta olan ve dünyanın en hızlı Yüksek Başarılı Hesaplama Sistemleri içerisinde yer almayı hedefleyen bir küme(cluster) sistemidir. İTÜ-Grid temel olarak dört farklı alt yapıdan oluşan heterojen bir sistemdir. Üç benzer yapı İTÜ-Grid sisteminin temel yapısını oluşturur. Bunlardan birincisi SMP yapısına sahip 2 tane 3.4 GHz hızında Intel Xeon işlemcinin bulunduğu DL360 G4 Proliant sunucusudur. İkinci yapı SMP yapısına sahip 4 tane 3.16 GHz hızında Intel Xeon işlemcinin bulunduğu DL580 G3 Proliant sunucusudur. Üçüncü sistem ise 2 tane UltraSparc IIIi işlemcinin bulunduğu SunFire V210 sunucusudur.

High Performance Computing Challenge (HPCC) Benchmark testi 7 farklı testten oluşmaktadır. Bu testler HPL, DGEMM, FFT, STREAM, RandomAccess, PTRANS ve Latency/Bandwidth benchmark testlerinden oluşur. Herbir test Yüksek Başarılı Hesaplama sistemleri için toplam performans karakteristiğini oluşturan farklı bir performans değerini ölçmektedir. Birim zamanda yapılan milyar tane işlem sayısı, işlemcilerin belleğe ulaşım hızları ve sistem içindeki haberleşme gecikme süresi ve bantgenişliği ölçülen başlıca değerlerdir. HPCC benchmark testi sistemi bir bütün aynı zamanda herbir alt birimini kendi içerisinde detaylı olarak incelemeye olanak vermektedir. Bu çalışmada HPCC test sonuçlarına göre sistemdeki 3 farklı küme yapısı incelenerek birbiriyle karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Bu sistemler avantajları ve dezavantajları açısından karşılaştırılarak sistemin genişletilmesi hakkında ön bilgi elde edilemeye çalışılmıştır.

SUMMARY

Clusters of commodity hardware form most of the fastest high performance computing systems around the world. Istanbul Technical University Grid (ITU-Grid) system is a newly constructed cluster system, which is being tested and improved to be placed in world's fastest High Performance Computing Systems list (Top500 list). Istanbul Technical University, Informatics Institute Grid system is a small heterogeneous grid system that consists of mainly four subsystems with different architectures. Three similar systems constitute the basic part of ITU-Grid. First system is DL360 G4 Proliant server that is a symmetric multiprocessing (SMP) system consisting of two 64bit-Intel Xeon processors running at 3.4 GHz clock speed. Second system is HP DL580 G3 Proliant server that is a multi-processor (MP) SMP system consisting of four 64bit-Intel Xeon MP processors running at 3.16 GHz clock speed. Third system is Sun Fire v210 server with two UltraSparcIII i processor running at 1.06 GHz clock speed. High Performance Computing Challenge (HPCC) benchmark suite consists of 7 different test programs such as HPL, DGEMM, FFT, STREAM, RandomAccess, PTRANS and Latency/Bandwidth which measures different performance characteristic of a High Performance Computing (HPC) system; such as floating point execution rate, memory access bandwidth, interconnection network bandwidth, and communication latency values, which are considered to be the main performance measurements for HPC systems. HPCC benchmark allows examination of the system at hand in details by giving test results about main components of the system and the system as a whole. In this study, different architectures in the system are analyzed according to total performance, memory access bandwidth and network communication properties by HPCC Benchmark suite. We try to show advantages and disadvantages of the systems for a HPC system.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bilimsel çalışmaların, artan bilgi birikimiyle ortaya koydukları problemlerin yapısı karmaşıklaşmakta, çözümü için de hesaplama gücü yüksek sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bir tek işlemciden oluşan sistemlerin hesaplama gücü fiziksel koşullardan dolayı sınır değere yaklaştığı için, çok sayıda işlemciden oluşan yüksek başarılı hesaplama (YBH) sistemlerinin bilimsel uygulamalarda önemi giderek artmaktadır.

YBH sistemlerinin toplam işlem gücü sahip oldukları her bir işlemcinin hesaplama gücünün toplamı ile doğru orantılı olduğu düşünülse de, gerçekte bu değeri belirleyen birçok başka etken vardır. Bu etkenlerden temel olanı işlemcilerin hangi yapıda bir araya geldiğidir. Çünkü, bu yapı aynı zamanda diğer etkenler olan işlemcilerin bellek yapıları ve belleğe ulaşım hızları, iç ağ bağlantı hızları, haberleşme bant genişlikleri ve gecikme süreleri gibi değerler üzerinde de belirleyici olmaktadır[1].

YBH sistemlerini oluşturan paralel sistemleri üç gruba sınıflamak mümkündür. Bunlardan birincisi binlerce hatta onbinlerce işlemcinin aynı makina içinde bir araya geldiği, her bir işlemcinin kendisine ait belleğin ve işletim sisteminin bulunduğu dağıtık bellekli paralel sistemlerdir. İkinci olarak 2,4,8 gibi sayılarda işlemcinin aynı makina içinde bulunduğu, ortak bellek ve işletim sistemi kullandığı simetrik çok işlemcili (Symmetric MultiProcessors - SMP) yapılarıdır. Bu sistemlerde işlemciler aynı yol üzerinden belleğe bağlanmakta, bu da sistemin genişletilebilirliği üzerinde kısıtlayıcı etken olmaktadır. Bu sorunu aşmak için NUMA(Non-Uniform Memory Access) yapısında sistemler geliştirilmiştir. SMP yapılarının bir alt birim olan NUMA yapıları belirli işlemcilerin belleğin belirli kısımlarına daha hızlı ulaşabildiği sistemlerdir. Üçüncü olarak da çok sayıda bilgisayarın bir ağ ile birbirine bağlanarak tek bir hesaplama sistemini meydana getirmesiyle oluşan küme(cluster) sistemleri tanımlanabilir. Bu yapılarda her bir hesaplama düğümü kendine ait anakartı, işletim sistemi olan bilgisayarlardan oluşur. Günümüzde her bir düğümün SMP sistemlerden oluşan küme yapıları, hem daha ekonomik hem de daha verimli olduğu için yaygın olarak

kullanılmaktadır. [2], [3] , [4]

Farklı yapıda biraraya gelen işlemcilerin birbiriyle haberleşme sırasında kullandıkları ağ yapısının özellikleri sistemin işlem gücünü belirleyen diğer önemli bir etkidir. İşlemci hızının çok yüksek olmasına karşın işlemciler arasındaki haberleşme kapasitesi, toplam işlem hızı üzerinde kısıtlayıcı bir etkiye sahiptir. İşlemciler ne kadar hızlı olursa olsun, işlemcilerin birbirleriyle haberleşmesi yavaş ise toplam işlem gücü düşük olacaktır. Paralel sistemlerin üzerinde işlemcilerin haberleşmesini sağlayan iç ağ bağlantı yapıları, özellikle kümeler üzerinde Gigabit Ethernet, Myrinet ve Infiniband gibi teknolojiler üzerinden sağlanmaktadır.[5]

Bu çalışmada yüksek başarılı sistemlerin toplam performans karakterizasyonu ile genel parametreler incelenecek. Daha sonra sistemin performans analizinde temel yöntem olan benchmark konusu ve benchmark testleri anlatılacaktır. Sistemin birçok parametresini test ettiği ve sisteme genel bir bakış açısı sağladı için genel olarak HPPC benchmark üzerinde durulacaktır. En son bölümde İTÜ Grid sistemi üzerinde HPCC benchmark testleri yapılarak sistemin performans analizi yapılacaktır.

BÖLÜM 2

BENCHMARK

Farklı bilim dalları için benzer anlamları olan Benchmark konusu, bilgisayar sistemleri için sistemin performans karakteristikleri hakkında genel bilgi veren test programlarının bütünü olarak tanımlanabilir. Özellikle YBH sistemleri için benchmark işleminin önemi büyüktür. Bu sistemler üzerinde Benchmark testleri farklı amaçlar için yapılabilmektedir. Öncelikle bir sistemin performans ölçütlenendirilmesi için belirli değerler üreten bu testler, farklı sistemleri birbirleri ile karşılaştırabilecek parametreler üretmektedir. Ayrıca kurulacak bir sistemin amaçlanan uygulama için yeterliliğini test ederek alıcı için yol gösterici olmaktadır. Kullanıcı için sistemin performansının beklenenden düşük olduğu durumlarda performans iyileştirmesi için yine yol gösterici olmaktadır.

Günümüzde kullanılan benchmark testleri 30-40 satırlık basit programlardan milyon satırlık karmaşık programlara kadar çok çeşitlilik göstermektedir [6]. Kabuk, suni ve uygulama benchmark olmak üzere 3 çeşit olarak sınıflandırılabilir. Kabuk benchmarklar genellikle programın yüzde 10'unda ölçüm yapılan ve işlemcinin birim zaman yapabildiği işlem sayısını gösteren MFLOPS değerini ölçen testlerdir; "Linpack"[7] ve "Livermore Loop"[8] bu testlere örnek olarak verilebilir. Yapay benchmarklar bilgisayar sistemlerinin sadece seçilen bir parçasının performansını ölçer;"Whetstone"[9] ve "Dhrystone"[10] örnek olarak verilebilir. Bu testler için önemli bir nokta gerçek uygulamalar için bir ölçüt oluşturmaz. Sadece belirli bir değer ölçülmeye çalışıldığı için sistemin diğer bir çok kriteri göz ardı edilir. Bunlar genellikle belirli bir performans parametresini ölçen test programlarıdır. Uygulama benchmarkları ise belirli bir probleme çözüm üreten aynı zamanda sistem performans ölçümü için anlamlı sonuçlar veren test programlarıdır.

Benchmark testlerinde genel eksiklik sistemi bütünlüklü incelemeye yarayacak bilgiler vermemesidir. Genel anlamda sistemi anlayabilmek ve gerekli müdahaleleri yapabilmek için sistemde birçok değeri aynı anda etkileşiminin bilinmesi gerekir. Bu çalışmada, diğer benchmark testlerinden farklı olarak sistemi bütün olarak incelemeyi sağlayan ve birçok testten oluşan High Performance Computing

Challenge (HPCC) benchmark programı anlatılıp uygulanmıştır.

2.1 High Performance Computing Challenge Benchmark (HPCC)

High Performance Computing Challenge (HPCC) [11] benchmark test takımı YBH sistemleri gelişiminde performans sınırlarını belirlemek için DARPA (The Defense Advanced Research Projects Agency) HPCC programı tarafından oluşturulmuştur. Dünyanın en iyi performansına sahip ilk 500 bilgisayarının oluşturduğu TOP500 [12] listesinin belirlenmesinde temel alınan High Performance Linpack (HPL) benchmark testinden daha kapsamlı ve bir YBH sisteminin değerlendirilmesinde gerekli birçok parametreyi belirlediği için YBH benchmark programları arasında önemi gittikçe daha çok ortaya çıkmaktadır. HPCC Benchmark testleri üç farklı şekilde sistemin performansını test etmektedir. Tek bir işlemcinin hesaplama performansı, bütün işlemcilerin birbirinden bağımsız olarak aynı işlem üzerinde hesaplama performansı ve bütün işlemcilerin tek bir işlem üzerinde hesaplama performansı hesaplanarak, sistemin bütün ve her bir alt bileşenin performansı kontrol edilerek sistemin ayrıntılı analizi yapılmaktadır. HPCC Benchmark programı 7 tane testen oluşmaktadır. Herbir test sistemin performans göstergesi açısından farklı bir değeri belirlemektedir.

2.2 High Performance Linpack

High Performance Linpack (HPL) [13] rastgele sayılardan oluşan yoğun doğrusal denklem takımı üreten, çözen, çözümün doğruluğunu kontrol eden ve çözüm için geçen süreyi ölçen bir paralel program paketidir. Yüksek Başarımlı Sistemlerin karşılaştırılmasında sonuçları kriter olarak kabul edilen Linpack benchmark programının paralel sistemler için C diliyle yazılmış bir uygulaması olarak da tanımlanabilir. Temel matris ve vektör işlemleri için Basic Linear Algebra Subroutines (BLAS) veya Vector Signal Image Processing Library (VSIP) kütüphanelerini, paralel programlama uygulaması için de MPI kütüphanelerini kullanmaktadır.

HPL, sistem tarafından bir saniyede yapılan milyar tane kayar noktalı işlem sayısını ölçmektedir. Gigaflows (Gflows) olarak adlandırılan ve sistemin performansı olarak kabul edilen bu değer, bir saniyede 64 bitlik sayılar üzerinde yapılabilen toplam toplama ya da çarpma işlemi sayısını göstermektedir. Sistemler üreticiler tarafından genellikle tepe performansı ile adlandırılırlar. İşlemcinin cycle time süresince yapabildiği toplama ve çarpma sayısını gösteren bu değer işlemcinin saat hızına bağlı olarak hesaplanır. Örneğin bir sistemin işlemci hızının 750 MHz ve bir cycle boyunca 2 işlem gerçekleştirdiği kabul edilirse tepe performans $(2 * \text{islem} / \text{1cycle}) * 750 \text{MHz} = 1500 \text{Megaflops}$ olarak hesaplanır. Bu değer

aynı zamanda üreticiler tarafından sistemin geçemeyeceği garanti edilen performans değeridir. HPL testiyle elde edilen performans değeri sistemin gerçek zamanlı performansı olup, tepe performans değerine ne kadar yaklaşıldığını göstermektedir. Aynı zamanda bir sistemin toplam performansını değerlendirilmesinde iyi bir ölçütlendirme sağladığı için bütün YBH sistem üreticileri tarafından temel benchmark olarak kabul edilmektedir [14].

HPL testinde n . dereceden üretilen doğrusal denklem takımı (denklem (2.1)) LU ayrıştırması yöntemiyle çözülür. HPL algoritması kısaca; iki boyutlu blok dairesel veri dağıtımı, sağ taraflı LU ayrıştırması, kısmi satır türevli, çoklu ileri gönderme ve yinelemeli panel ayrıştırması yöntemleriyle özetlenebilir.

$$Ax=b; A \in \mathbf{R}^{n \times n}; x, b \in \mathbf{R}^n \quad (2.1)$$

A katsayılar matrisini ve b sağ taraf vektörünü göstermek üzere, $[A, b]$ şeklinde oluşturulmuş $(n, n+1)$ boyutundaki korelasyon matrisi denklem (2.2) takımına dönüştürülerek çözüm vektörü x bulunur,

$$P[A, b] = [[L, U], y]; P, L, U \in \mathbf{R}^{n \times n}; y \in \mathbf{R}^n \quad (2.2)$$

Kısmi pivotlu **LU** ayrıştırma yöntemiyle çözülen denklem sisteminde, P pivotları belirten permütasyon matrisini göstermektedir. Alt üçgen matris L ile b vektörü $Ly = b$ eşitliğine göre ileriye doğru yerine koyma yolu ile y vektörü bulunur. Çözüm vektörü x ise, üst üçgen matris U ile $Ux = y$ eşitliği çözülerek bulunur.

Çözüm işlemini gerçekleştiren işlemciler arasında MPI rutinleri ile satır sayısı P , sütun sayısı Q ile gösterilmek üzere bir $P \times Q$ grid yapısı oluşturulur. $(n, n+1)$ boyutlu katsayılar matrisi $N_b \times N_b$ boyutunda küçük kare matrislere bölünerek, iki boyutlu $P \times Q$ gridi üzerine, blok dairesel yük dağılım yöntemiyle dağıtılır. Bu yöntem hem yük dağılımında dengeyi sağlamak hem de algoritmanın uygulanabilirliği açısından en uygun yöntemdir. Tablo-2.1’de 4 işlemci

Tablo 2.1: $P \times Q$ grid yapısı

P0	P1	P0	P1
P2	P3	P2	P3
P0	P1	P0	P1
P2	P3	P2	P3

üzerinde kurulmuş 2×2 boyutlu grid yapısı gösterilmiştir. P harfinin yanındaki sayılar `MPLComm.size()` ile oluşturulmuş işlemci grubunda işlemcilerin aldığı işlemci numarasını göstermektedir. Herbir kutuçük N_b boyutundaki küçük kare matrisleri göstermektedir.

LU ayrıştırması yöntemlerinden sağ taraflı ayrıştırma yöntemi temel olarak alınmıştır. Bu yöntemde matris küçük panellere bölünerek bu paneller üzerinde LU ayrıştırması gerçekleştirilir. Böyle matris bütünüyle değil küçük parçalar halinde çözülür. HPL algoritmasında panel boyutu N_b olarak seçilir. Şekil 2.1’de sağ taraflı LU ayrıştırması görülmektedir. $N_b \times N_b$ boyutundaki A_{11} matrisi bulunduğu işlemci tarafından LU yöntemine göre L_{11} ve U_{11} matrislerine ayrıştırılır ve diğer işlemcilere gönderilir. Herbir işlemci kendine ait L_{21} ve U_{12} matrislerinin

$$\begin{array}{|c|c|} \hline A_{11} & A_{12} \\ \hline A_{21} & A_{22} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|} \hline L_{11} & 0 \\ \hline L_{21} & L_{22} \\ \hline \end{array} \cdot \begin{array}{|c|c|} \hline U_{11} & U_{12} \\ \hline 0 & U_{22} \\ \hline \end{array}$$

Şekil 2.1: Sağ taraflı LU ayrıştırması

parçaçıklarını hesaplar. Daha sonra herbir işlemci A_{22} matrisini hesapladıktan sonra L_{22} matrisi oluşturularak diğer işlemciler üzerinde indirgenmeye devam edilir.

$$A_{11} = L_{11}U_{11} \quad (2.3a)$$

$$A_{12} = L_{11}U_{12} \quad (2.3b)$$

$$A_{21} = L_{21}U_{11} \quad (2.3c)$$

$$A_{22} = L_{21}U_{11} + L_{22}U_{22} \quad (2.3d)$$

HPL algoritması farklı iletişim ağları kurarak HPL algoritmasının verimini artıracak şekilde birbiriyle haberleşir.

2.3 DGEMM

BLAS-3 kütüphanesi rutini olan ve matris-matris çarpımı gerçekleştiren DGEMM fonksiyonu, HPCC benchmark paketinde, sistemin herbir alt birimini test etmeyi sağlamaktadır. Dgemmm testinde, double değerli, gerçek sayılardan oluşan iki kare matrisin çarpım işlemi sistemde bulunan BLAS kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilirken birim zamanda yapılan kayarnoktalı işlem sayısı (Gflop/s) ölçülür[15].

Dgemmm testinde kullanılacak alt matris boyutu n , HPL programı problem boyutu N değerine bağlı olarak

$$n = \sqrt{(N \times N \times 8)/(MiS \times 4)} \quad (2.4)$$

formülüne göre belirlenir. MiS minimum işlemci sayısını göstermektedir. HPCC testi farklı sayıdaki işlemciler üzerinde aynı anda koşturulabilmektedir. Problem boyutu, işlemcilerin bellek değerini aşmaması için en az sayıdaki işlemci grubuna göre belirlenmektedir.

MPI Comm_size() fonksiyonu ile oluşturulan işlemci grubu üzerinde, her bir işlemci 0-1 arasında değişen rastgele sayılardan oluşan (n,n) boyutlu A , B , C_0 matrislerini oluşturur.

$$C = \alpha AB + \beta C_0 \quad (2.5)$$

işlemi BLAS-3 kütüphanesi kullanılarak C matrisi hesaplanır. Yapılan işlemin doğruluğu C ve C_0 matrislerinin Frobenius form değerleri farkının 0'a yakın olması kontrol edilerek sağlanır. C matrisinin oluşturulması sırasında yapılan toplam işlem sayısı, MPI_Wtime() fonksiyonu ile ölçülen toplam işlem süresi t değerine bölünerek, birim zamanda yapılan kayarnoktalı işlem sayımı gösteren Gflop/s değeri:

$$Gflops = (2 * 10^{-9} * n^3) / t \quad (2.6)$$

şeklinde bulunur.

DGEMM testi işlemciler üzerinde StarDgemm ve SingleDgemm olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilir. StarDgemm testinde, DGEMM testi bütün işlemciler üzerinde birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilir. Hesaplanan Gflops değerleri MPI_Reduce() fonksiyonu ile merkez işlemcide toplanarak en çok, en az ve ortalama değerleri hesaplanır ve toplam ortalama Gflops değeri ortalama Gflops değerinin işlemci sayısına bölünerek bulunur. SingleDgemm testinde ise işlemci numarasına göre rastgele seçilen bir işlemci üzerinde DGEMM testi gerçekleştirilerek hesaplanan Gflops değeri MPI_Bcast() fonksiyonu ile diğer işlemcilere iletilir.

DGEMM testi ile işlemcilerin kendilerine ait önbellegi ve belleği ne kadar verimli kullandıkları hakkında bilgi edinilmektedir. Önbellegin kullanımı ile kullanılan BLAS kütüphanesinin arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Matris-matris çarpımı sırasında BLAS 3 kütüphanesine ait dgemm fonksiyonu kullanıldığı için BLAS kütüphanesinin optimizasyonu elde edilen Gflops değerini oldukça etkilemektedir. Blas kütüphanesi işlemci yapısına göre önbellegi en verimli kullanılacak şekilde işlemciye özel oluşturulmalıdır. Ancak bu şekilde önbelleg kayıpları önlenerek çarpma işlemi en kısa sürede gerçekleştirilir. Ayrıca matris-matris çarpımı sırasında belleği, özellikle SMP yapısında işlemciler aynı anda kullanmaya çalıştıkları için SingleDgemm ile StarDgemm arasındaki fark bellek ulaşım hızları hakkında önemli bilgiler vermektedir.

2.4 Fast Fourier Transform (FFT)

Birim zamanda yapılan kayarnoktalı işlem sayısını ölçen diğer bir test programıdır. FFT bilim ve mühendislik alanlarında birçok uygulamaya sahiptir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle FFT dönüşümünü çözen birçok farklı algoritma geliştirilmiştir. FFT algoritmaların işlemcilerin CPU yapılarına göre farklı performans gösterdikleri bazı çalışmalarda kanıtlanmıştır. [16]. HPPC Benchmark programında Takashi tarafından geliştirilen radix-2,3 ve 5 tek boyutlu paralel FFT algoritması temel alınarak radix-2 tabanına göre FFT algoritması kullanılmıştır [17]. n boyutlu bir vektörün bir boyutlu Ayrık Fourier Dönüşümü yaklaşımıyla FFT değeri hesaplanmıştır.

$$y_k \leftarrow \sum_{j=0}^{n-1} x_j w_n^{jk}; 1 \leq k \leq n-1 \quad (2.7)$$

$w_n = e^{-2\pi i/n}$ olmak üzere Fourier dönüşümü hesaplanır. n değeri FFT'si hesaplanan vektörün boyutunu göstermektedir ve *HPL* problem boyutu N bağlı olarak

$$\sqrt{(N \times N \times 8)/(MiS \times 4)} \quad (2.8)$$

değerinin 2 katı olan en yakın değeri olacak şekilde hesaplanır. y ve x vektörlerinin elemanları double değerli karmaşık sayılardan oluşur. Rastgele üretilen bu vektörlerin elemanlarının, reel ve imajiner kısımları birbirinden bağımsız olarak üretilir. y vektörünün hesaplanması için geçen süre t , `MPLWtime()` fonksiyonu ile ölçülerek aşağıdaki

$$Gflops = 5 \frac{m \log_2 m}{t} 10^{-9} \quad (2.9)$$

formüle göre hesaplanır:

y vektörünün ters Fourier dönüşümü alınarak hesaplanan $\hat{x}$ vektörü ile x vektörü için $\|x - \hat{x}\|$ değerinin istenen bir değerden küçük olması kontrol edilerek, FFT işleminin doğruluğu kontrol edilir.

$$\hat{x}_k \leftarrow \frac{1}{m} \sum_j^m y_j e^{2\pi i \frac{jk}{m}}; 1 \leq k \leq m \quad (2.10)$$

FFT Benchmark testi işlemciler üzerinde 3 şekilde gerçekleştirilir. `MpiFFT` testiyle, FFT dönüşümü bütün sistem üzerinde, x vektörünün işlemciler üzerinde dağıtılmasıyla hesaplanır. `StarFFT` testi ile her bir işlemci bağımsız olarak kendine ait m vektörünün FFT dönüşümünü hesaplar. Bütün işlemcilere ait Gflops değerleri için en büyük, en küçük ve ortalama Gflops değeri bulunur. `SingleFFT` testi ile de seçilen tek bir işlemci üzerinde FFT dönüşümü gerçekleştirilerek, tek bir işlemci için Gflops değeri bulunur.

FFT dönüşümü paralel sistemler üzerinde hesaplanırken haberleşme zamanı, hesaplama zamanından daha büyüktür. Bütün işlemciler ile aynı anda x vektörünün FFT dönüşümü hesaplanırken, sistemin genel haberleşme kapasitesi hakkında genel bilgi verir. SingleFFT ve StarFFT testleri ile DGEMM testindeki gibi FSB değeri bilgi elde edilir.

2.5 Paralel Matris Devrik Alma (PTRANS)

PTRANS benchmark testi [15], bir matrisin devrik alma işlemini paralel olarak gerçekleştirirken, işlemci çiftleri arasında, eş zamanlı oluşan veri iletimi için geçen süreyi test eder. C ve A boyutları HPL problem boyutu N değerinin yarısı olan ve matrisleri rastgele sayılardan oluşan birer kare matris olmak üzere:

$$C = A^T + \alpha C; A, C \in \mathbf{R}^{N/2 \times N/2}; \quad (2.11)$$

işlemi gerçekleştirilerek geçen süre ölçülüp, birim zamanda iletilen veri miktarı hesaplanır (GB/s). Bu değer sistemin genel veri iletim kapasitesinin bir ölçüsüdür. PTRANS Benchmark testinin algoritma işleyişi şu şekilde devam eder. A matris boyutu N değerinin yarısı olarak alınır. HPL test parametreleri olan N_b , P ve Q değerlerine bağlı olarak, A matrisi N_b boyutunda küçük matrislere bölünerek, $P \times Q$ gridine göre düzenlenmiş işlemciler üzerine dağıtılır. Her bir işlemci kendisine ait A matrisinin parçalarını kendisi oluşturur. Daha sonra grid üzerindeki yerlerine göre işlemciler arasında MPI haberleşme rutinleri ile A matrisinin devrik alma işlemi gerçekleştirilir. Veri iletiminde `MPI_Type_vector()` fonksiyonu ile veriler vektör halinde iletilir. Bu işlem için geçen t süresi `MPL_Wtime` fonksiyonu ile ölçülür. Birim zamanda gigabit değerinde iletilen veri miktarı GB/s değeri:

$$\text{GB/s} = (N/2 * N/2 * \text{sizeof}(\text{double}) * 10^{-9})/t \quad (2.12)$$

formülü ile hesaplanır.

Kontrol işlemi C matrisi ile A matrislerinin Frobenius form değerleri arasındaki farkın istenen değerden küçük olması kontrol edilerek sağlanır. $\|\cdot\|$ Frobenius formu olmak üzere $\|C\| - \|A\|$ değerinin kullanıcı tarafından belirlenen değerden küçük olması kontrol edilir.

2.6 STREAM

Bilgisayar sistemlerinin performansını belirleme de temel ölçüt olan işlemci hızları, günümüzde sınırları zorlayacak şekilde artmaktadır. Buna karşın bellek bantgenişliği, iç ve dış ağ bağlantı bantgenişliği, işlemcilerin bu özelliğini destekleyecek şekilde artmamaktadır. Bu durumda özellikle YBH sistemleri için

bellek bant genişliği performans analizinde önemli bir yere sahiptir. STREAM benchmark [18] sürdürülebilir bellek bantgenişliğini megabyte/sn cinsinden ölçen basit vektör-vektör işlemleri yapan kabuk programlarından oluşur. Vektör boyutu işlemcinin önbellek alanından büyük seçilerek, önbellek kayıpları önlenip işlemcinin sadece belleğe (RAM) hangi hızla ulaştığı ölçülmeye çalışır. STREAM programı temel olarak, vektör boyutunu işlemcinin tüm son seviye önbellek değerlerinin toplamının 4 katı olarak alır. HPCC benchmark testinde ise işlemlerde kullanılacak 3 vektörün boyutu n , HPL testi problem boyutu N esas alınarak

$$n = (N * N) / (MiS * 3) \quad (2.13)$$

formülüne göre hesaplanır. STREAM benchmark testi basit vektör kabuk işlemleri gerçekleştirir. Bu işlemler:

$$Copy : a = b \quad (2.14a)$$

$$Scale : a = \beta b \quad (2.14b)$$

$$Sum : a = b + c \quad (2.14c)$$

$$Triad : a = b + \beta c \quad (2.14d)$$

şeklinde tanımlanır. b ve c vektörleri rastgele sayılardan oluşturulur. Herbir işlem için geçen süre toplam vektör boyutunun işlem süresine bölünmesiyle; kullanılan hafıza bant genişliği Megabyte/sn cinsinden bulunur.

Stream benchmark testi işlemciler üzerinde 2 şekilde gerçekleştirilir. Star-Stream testi herbir işlemcinin bağımsız şekilde vektör işlemlerini gerçekleştirerek herbir alt birimin kullanabildiği hafıza bantgenişliğinin test edilmesini sağlar. Ortak FSB kullanan yapılarda bu yol üzerinde oluşan çakışmaların belleğe ulaşımı ne kadar etkilediği hakkında da bilgi vermektedir. SingleStream ile seçilen tek bir işlemci üzerinde vektör işlemleri gerçekleştirilerek tek bir işlemcinin FSB değerini bütünüyle kullanarak, ulaşabildiği toplam bantgenişliğinin test edilmesini sağlar.

2.7 Rastgele Erişim (RandomAccess)

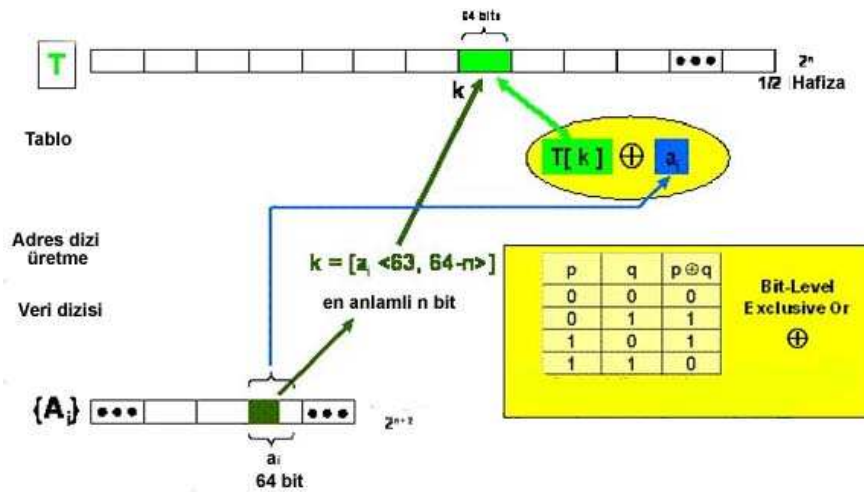
Belleğe rastgele erişim performansı sistem üzerinde yapılan uygulamanın performansı ve işlem süresini direk etkilemektedir. Özellikle önbelleğe erişimde meydana gelen küçük bir kayıp (cache misses) uygulamanın ve sistemin performansını çok büyük oranda kötüleştirebilmektedir. Bilgisayar teknolojisinde önbellek erişim kayıplarını önlemek için genel eğilim uzun cache lines ve stride-1 kullanarak performans kaybını en aza indirmektir. Bu anlamda sistemler üzerinde performans erişim performansını test edilerek gerekli değerlerin elde edilip edilmediği kontrol edilmelidir.

HPCC RandomAccess benchmark bu anlamda sistemin bellek yapısını genel olarak çizerek, bellek sisteminin ulaşabileceği eniyi performansı ölçmektedir. Ayrıca HPCC RandomAccess benchmark hem sistemin bütünü test ettiği gibi her bir alt sisteminde performansını ölçmektedir. Benchmark sonucunda elde edilen GUPS (**G**iga **U**pdates **P**er **S**econd) değeri, sistemde belleğin herhangi bir yerinde bir saniyede yapılabilen yenileme işlem sayısını göstermektedir. Yenileme işlemi belleğin herhangi bir adresinde tutulan bir değer üzerinde okuma, değiştirme ve geri yazma işlemlerinin bütünüdür. GUPS değeri büyüklüğü, bellek kayıplarının önlenip belleğin ve önbelleğin verimli kullanıldığını göstermektedir.

Yenileme işlemleri n boyutlu $\mathbf{T}$ dizisi üzerinde gerçekleştirilir. n değeri, HPL testinde kullanılan toplam bellek m olmak üzere $2^n \leq m/2$ eşitliğini sağlayacak şekilde seçilir. $\mathbf{T}$ dizinin her bir elemanı 64-bitlik bilgi içerecek şekilde $T[i] \equiv i$ eşitliğine göre atanır. İkinci olarak yine elemanları 64-bitlik bilgi içeren ve $\mathbf{T}$ dizisinin yenileme işleminde kullanılacak $\mathbf{A}$ dizisi oluşturulur. $\mathbf{A}$ dizisinin boyutu $\mathbf{T}$ dizisinin boyutunun 4 katı olacak şekilde 2^{n+2} olarak seçilir. a_i , $\mathbf{A}$ dizisinin her bir elemanını göstermek üzere 2. dereceden Galois Field (GF(2)) fonksiyonuna göre üretilir. GF(2) fonksiyonu ile a_i değerleri 0 ve 1 değerlerine bağlı olarak $x^{63} + x^2 + x + 1$ fonksiyonu ile üretilir. $\mathbf{T}$ tablosu üzerinde yenileme işlemleri aşağıdaki formüle göre yapılır:

$$T[a_i \langle 63, 64 - n \rangle] \leftarrow T[a_i \langle 63, 64 - n \rangle] \oplus a_i \quad (2.15)$$

$[a_i \langle 63, 64 - n \rangle]$ ifadesi, a_i ikili değerinin en anlamlı n bitini değerini gösterir. $\oplus$ işlemi GF(2) için toplama işlemini yani XOR işlemini göstermektedir. Şekil 2.2’de Rastgele Erişim test programının algoritmasının şematik gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 2.2: Rastgele Erişim Algoritması [19].

$\mathbf{A}$ dizisi üzerinde yapılan her bir iterasyon ile $\mathbf{T}$ dizisinin her bir farklı el-

emanlarına dolayısı ile belleğin belirli bir yerine ulaşarak, bu değer üzerinde yenileme işlemleri yapılır. Yenileme işlemi süresi **T** tablosu 4 kere yenilenecek şekilde seçilir aksi durumda bu süre en azından 1 sn olarak belirlenir. Yenileme işlemi için geçen süre t MPI Wtime ile ölçülerek, toplam yenileme yapılan bellek sayısının süreye bölünmesiyle sistem için GUPS değeri hesaplanır.

Rastgele Erişim benchmark testi işlemciler üzerinde 3 şekilde gerçekleştirilir. MpiRandomAccess ile bütün işlemciler ortak **T** üzerinde yenileme işlemini gerçekleştirir. İşlemciler üzerine dengeli yük dağılımına göre dağıtılan **A** dizisi aracılığı ile her bir işlemci kendisine ait bellek üzerinde yenileme işlemini gerçekleştirir. Elde edilen GUPS değerlerinin ortalaması alınarak sistemin genel GUPS değeri hesaplanır. MpiRandomAccess ortak bellek yapılı sistemler için daha anlamlı sonuçlar vermektedir. İşlemciler hafızaya ulaşırken kendisine en yakın bellek bölgesine ulaşmaya çalışır. StarRandomAccess ile her bir işlemci kendine ait **T** ve **A** dizileri oluşturarak **T** tablosu üzerinde yenileme işlemleri gerçekleştirilerek GUPS değerleri hesaplanır. Yine bu değerlerin ortalaması hesaplanarak sistem üzerindeki her bir işlemci için StarRandomAccess GUPS değeri hesaplanır. StarRandomAccess testi SMP yapısındaki sistemlerde her bir işlemcinin belleği hangi verimde kullandıkları hakkında bilgi vermektedir. SingleRandomAccess ile tek bir işlemci seçilerek bu işlemci için GUPS değeri hesaplanır. SingleRandomAccess ile her bir alt birim olan işlemciler tek tek incelenmesi sağlanır. Seçilen tek bir işlemci üzerinde **T** ve **A** dizileri oluşturarak GUPS değeri hesaplanır. MPIRandomAccess testinde **T** ve **A** tablolarının boyutu tüm sistemin toplam bellek değerine göre hesaplanırken, Star ve Single Rastgele Erişim testlerinde tek bir işlemcinin bellek değerine göre hesaplanır.

2.8 Haberleşme Gecikme süresi ve Bantgenişliği

Yüksek başarılı sistemler için işlemciler arasında bulunan ağ yapısının özellikleri sistemin performansını belirleyici bir özellik olarak bulunmaktadır. Sistemin diğer özellikleri ne kadar üstün olursa olsun iç ağ bağlantı hızı ve bantgenişliği düşük ise sistemden elde edilebilecek en iyi performans düşük olacaktır. Bu bağlamda ağ yapısının özelliklerini sistemin performansının artıracak kapasitede olmalıdır.

Gecikme/Bantgenişliği benchmark testi işlemci çiftleri arasında haberleşme sırasında oluşan gecikme süresi ve bant genişliğini ölçerek sistemin hem genel hem de alt birimleri için haberleşme kapasitesini test eden programlardan oluşur. İşlemciler arasında haberleşme rutinleri olarak MPI programının farklı fonksiyonları kullanılır. Temel olarak 3 çeşit haberleşme ağ kurularak mesajlaşma sırasında oluşan gecikme ve bantgenişliği ölçülür.

Kurulan ilk ağ yapısı 2 işlemci arasında mesaj gönderme ve alma prensibine dayanan ping pong yapısıdır ve haberleşme sırasında oluşan en büyük gecikme süresi ve en az bantgenişliğini test eder. Benchmark süresi yeterli uzunlukta tutulduğu takdirde bütün işlemciler arasında haberleşme yapılarak ölçüm yapılır. Aksi takdirde belirli sayıda işlemciler haberleştirilerek, ölçülen gecikme süreleri arasından en büyüğü ile bantgenişliği değerleri arasından en küçüğü sonuç olarak verilir. Haberleşme şu şekilde yapılmaktadır. MPI COMM_WORLD ile oluşturulan işlemci grubunda işlemci numarasına göre belirli işlemciler sunucu(mesaj gönderen), diğer işlemcilerde istemci (mesaj alan) olarak atanırlar. Sunucu işlemci MPI_Send() ile her bir istemciye mesaj gönderip, MPI_Recv() ile istemciden gelen mesajı alır. Bu iki işlemci sırasında geçen süre MPI_Wtime() ile ölçülerek sunucu tarafından haberleşme gecikme süresi olarak değerlendirilir. Aynı şekilde istemci işlemci MPI_Recv() ile gelen mesajı alıp MPI_Send() ile mesajı gönderen sunucuya geri iletir. Bu işlemler sırasında geçen süre de MPI_Wtime() ile ölçülüp istemci tarafından haberleşme gecikme süresi olarak değerlendirilir. Her bir sunucu ve istemci arasında bu işlemler gerçekleştirilerek elde edilen en büyük gecikme süresi merkez işlemciye MPI_Reduce() fonksiyonu ile gönderilerek bütün değerler arasında en büyük değer Ping-Pong haberleşme gecikmesi süresi ($t_{ping-pong}$) olarak kaydedilir. Ping pong haberleşmesinde sabit olarak 8 byte lık bir bilgi gönderilir buna dayanarak ping-pong bantgenişliği de $8 \times 10^{-6}/t_{ping-pong}$ formülüne göre hesaplanarak MegaByte/saniye olarak bulunur. Böylece elde edilen bantgenişliği en büyük haberleşme sırasında elde edilen en küçük bantgenişliğidir.

Kurulan ikinci yapı MPI COMM_WORLD ile oluşturulan işlemci grubundan işlemci numaralarına göre halka şeklinde bir ağ oluşturularak işlemcilerin haberleşmesi sağlanır. Halka kuruluş şekli iki şekilde yapılır. Düzgün Halka yapısı işlemci numarası artımına göre oluşturulur. Halka üzerinde bir işlemci kendisinden küçük numaralı işlemciden mesaj alarak kendisinden bir büyük numaralı işlemciye mesaj gönderir. Haberleşme sırasında MPI programının bloklamalı ve bloklamasız 2 rutini kullanılır. Bloklamalı rutinde MPI_Sendrecv() fonksiyonu 2 kez çağrılır. İlk çağrımdan sağ taraftan gelen mesaj alınarak sol tarafa iletilir. İkinci çağrımında ise sol taraftan gelen mesaj sağ taraftaki işlemciye iletilir. Bu rutinde ağ tek taraflı kullanılır. Bir iletim gerçekleşmeden diğer iletme geçilmez. İkinci rutin ise MPI_Irecv() ve MPI_Isend() fonksiyonlarıyla oluşturulan bloklamasız haberleşmedir. Bu rutinde yine sağ taraftaki işlemciden gelen mesaj alıp sol tarafa, sol taraftan alınan mesaj sağ tarafa iletilir. Farklı olarak bir herhangi bir mesajın gelmesi beklenmez. İlk gelen mesaj kabul edilerek gereken yere iletilir. Bu rutin ile ağ yapısı iki taraflı olarak kullanılması sağlanır. Her iki rutinde mesaj alma ve iletme süreleri MPI_Wtime ile ölçülür. Her işlemci elde ettiği en büyük haberleşme süresini merkez işlemciye göndererek

sistem için merkez işlemci tarafından genel düzgün halka haberleşmesi gecikme süresi $t_{duz-halka}$ bulunur. Bu haberleşme yapısında 2000000 Byte'lık bilgi iletilir buna göre düzgün halka bantgenişliği $2000000 \times 10^{-6}/t_{duz-halka}$ formülüne göre hesaplanarak MegaByte/saniye olarak bulunur.

Kurulan ikinci halka yapısı ise işlemci numaralarının artımına göre değil rastgele sıralanacak şekilde oluşturulan halka yapısıdır. Bu halka yapısında da düzgün halka yapısı gibi bloklu ve bloksuz iki ölçüm yapılarak ($t_{rast-halka}$) haberleşme süresi bulunur. $2000000 \times 10^{-6}/t_{rast-halka}$ formülüne göre de bantgenişliği MegaByte/saniye cinsinden bulunur.

BÖLÜM 3

İTU-GRID sistemi ve HPCC Benchmark test sonuçları

3.1 İTU Grid Yapısı

ITU-Grid sistemi temel olarak 4 farklı alt sistemden oluşan küçük ve heterojen bir yapıya sahip grid sistemidir (Şekil 3.1). Sistem INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) tarafından desteklenen GILDA (Grid Infn Laboratory for Dissemination Activities) organizasyonunun bir üyesidir.

NUMA bellek yapısına sahip olan SUN Fire12K makinası 16 adet 900MHz hızında, 16 adet 1200MHz hızında toplam 32 tane 64-bit Sparc mimarisinde işlemciden oluşur. Herbir işlemci 2GB belleğe sahip olmak üzere toplam 64GB belleğe sahiptir. 32 KB komut ve 64 KB veri kapasiteye sahip L1 seviyesinde, 8MB kapasitesinde L2 seviyesinde önbelleğe sahiptir.

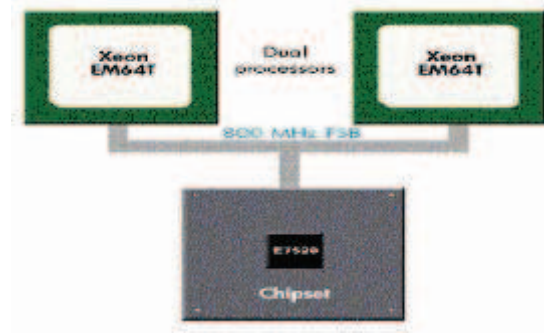
Grid sisteminin diğer 3 alt yapısı farklı mimarilere sahip sunuculardan oluşmuş küme sistemleridir. Stargate Kümesi 24 tane Sun Fire V210 sunucusundan oluşur. Herbir sunucu 2 GB Bellek 2 adet Ultra160SCSI 36GB sabit disk yapısına sahiptir. İçbağlantı 1000 Megabit Ethernet ile sağlanmaktadır.

Diğer iki küme sistemi Orion olarak adlandırılmaktadır. İki farklı sistemden oluşur. HP DL360 G4 Sunucusu 36 adet hesaplama düğümünde 2 tane 64bit-Intel Xeon Nocona 3.4 GHz işlemci olmak üzere toplam 72 tane işlemciden oluşur. HP DL580 G3 Sunucusu 7 adet hesaplama düğümünde 4 tane 64bit-Intel Xeon MP 3.16 GHz işlemci olmak üzere toplam 28 tane işlemciden oluşur. Toplam olarak Orion kümesinde 100 işlemci bulunmaktadır.

3.2 HP Proliant DL360 G4 Sunucusu

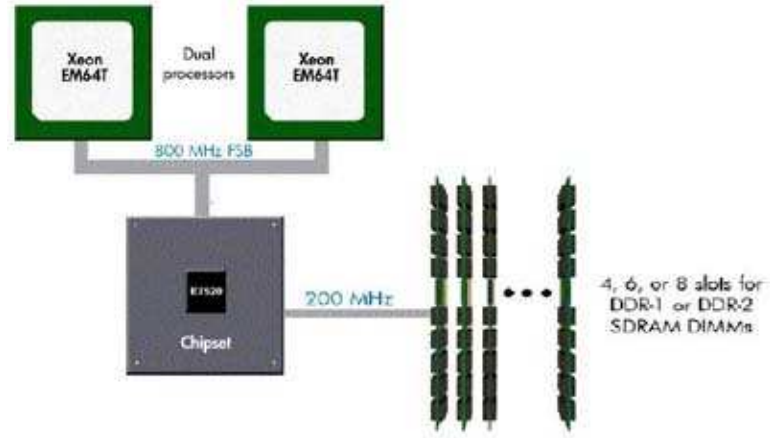
Hp DL360 G4 sunucuları çift işlemci yapısını destekleyen, dış bağlantı arayüzü olarak SCSI ya da SATA yapılarını kullanan, küme yapıları için yüksek işlem gücü ve yer tasarrufu açısından önemli özelliklere sahip sistemlerdir [23].

Şekil 3.2 de görüldüğü gibi işlemciler 800MHz hızındaki FSB(Front side bus) ile cipset üzerinden belleğe ulaşmaktadır. İki işlemci FSB yolunu aynı anda 2 yönlü iletim için kullanabilmektedirler



Şekil 3.2: DL360 Proliant G4 sunucusu yapısı [20].

I/O ve PCI-X paralel I/O teknolojilerini desteklemektedir. Belleğe bağlanım 166MHz-2.7GB/s veya 200MHz-3.2GB/s değerindeki yollar üzerinden sağlanmaktadır (Şekil 3.3). Anakart üzerinde dört DIMM soketine sahip olan DL360 sunucusu DDR333 bellek yapısını desteklemektedir. Aşağıdaki şekildeki gibi olan soket yapısı her bir soket çiftinde 2 GB bellek bulunmaktadır.



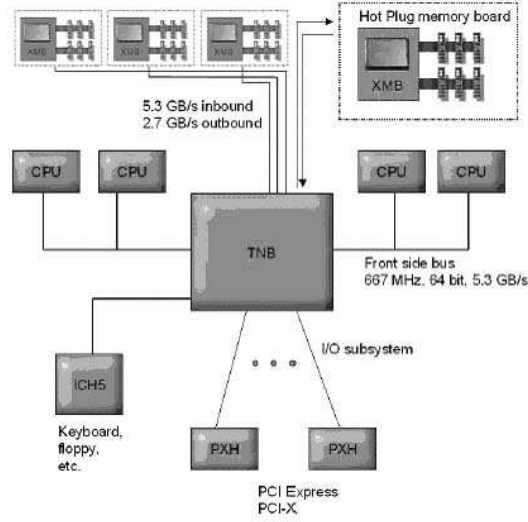
Şekil 3.3: Intel E7520 chipset yapısı [20].

ITU-Grid sistemi içinde bulunan Proliant DL360 sunucularında 3.4 GHz hızında Intel Xeon çift işlemcisi, FSB değeri 800 MHz ve belleğe erişim 166 MHz ve her düğümde 2GB lık DDR333 MHz lik bellek bulunmaktadır

3.3 HP Proliant DL580 G3 Sunucusu

HP Proliant DL580 G3 sunucuları çok işlemci yapılarına sahip, her bir işlemcinin çift çekirdek özelliğinde sahip işlem ve depolama gücü yüksek sistemlerdir. Intel EM64T teknolojisine sahip 64-bit işlem yapabilen Intel Xeon MP(multi processor) işlemcilerin hızları 2.8 GHz ile 3.8 GHz arasında değişmektedir. 2MB a kadar L2 seviyesinde ve 8 MB a kadar L3 seviyesinde işlemci çipi üzerinde yer

alan önbellege sahip olan Intel Xeon işlemciler, sahip oldukları HyperThreading teknolojisi ile sistemin gücünü yaklaşık iki katına çıkarabilmektedir.



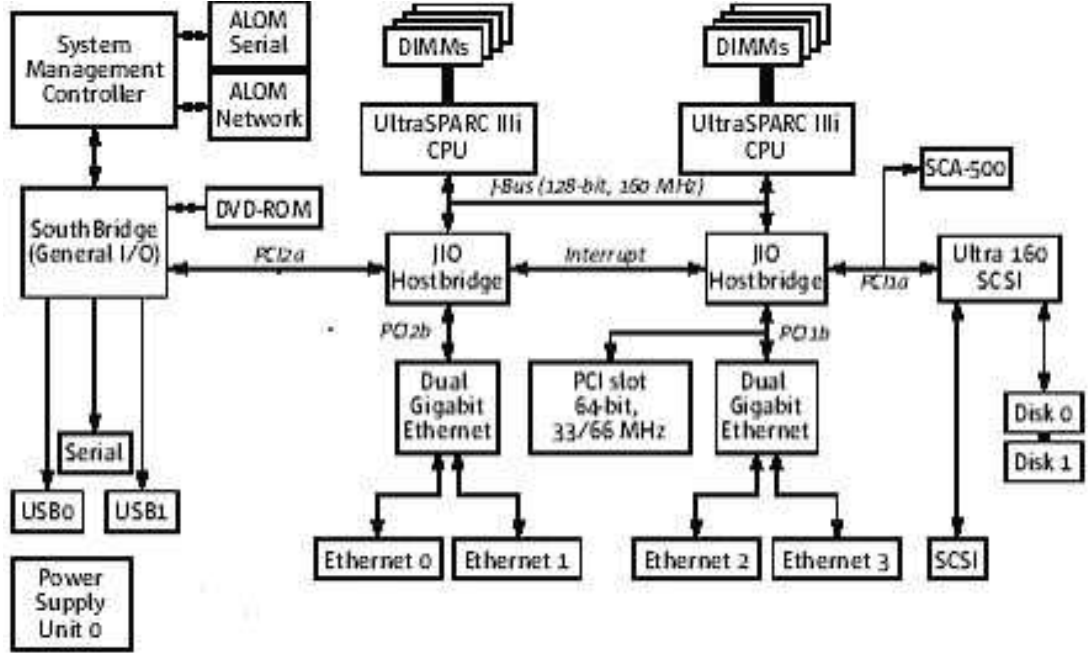
Şekil 3.4: Intel E7520 çipset yapısı [20].

Şekil 3.4 görüldüğü gibi işlemciler 667MHz hızında ve 5.3 GB/s genişliğindeki FSB(Front side bus) ile çipset üzerinden belleğe ulaşmaktadır. Sistem üzerinde her bir DIMM yapısı genişletilebilecek şekilde 2, 4, 6, 8 GB değerinde soketlere sahiptir. Sistem belleği XMB denilen bellek kontrol sistemleri üzerinde bulunmaktadır ve sunucu üzerinde en çok 4 tane XMB yapısı bulunmaktadır. İşlemciler çipset üzerinden XMB lere oradan belleğe bağlanabilmektedir. İşlemciler belleğe yazma yaparken 2.7 GB/s yolu okuma yaparken 5.3 GB/s yolu kullanırlar. ITU-Grid sistemi içinde bulunan Proliant DL580 G3 sunucularında 3.16 GHz hızında Intel Xeon MP çift çekirdekli işlemci, FSB değeri 667 MHz ve belleğe bağlanım 5.3/2.7 MHz ve her düğümde 4GB lık DDR2 400 Mhz lik bellek bulunmaktadır.

3.4 Sun Fire V210 Sunucusu

Sun Fire V210 (Şekil 3.5) sunucusu geniş uygulama alanlarına sahip, küme yapıları içinde yüksek bellek kapasitesi ve genişletilebilir yapısıyla önemli bir yere sahiptir. Sunucu içerisinde tüm yapılar anakart üzerine entegre şekilde bulunmaktadır. İki tane 1 MHz hızında UltraSparc III i işlemcisine sahiptir ve bu işlemcilerin özellikleri şu şekilde özetlenebilir. Her bir işlemci SPARC-V9 teknolojisine sahiptir. Çip üzerinde herbiri 4 yollu olmak üzere 34KB instruction önbellege, 64 KB veri önbellege ve 2 KB yazma önbellege sahiptir. Dört yollu 1MB L2 önbellege sahip olan işlemci 169 bitlik 167 Mhz hızında sistem yoluna sahiptir. Sunucu üzerinde her bir işlemcide 4 DIMM yuvası ve toplam olarak 1 GB değerinde 111MHz/222MHz hızında Sun DDR-1 SDRAM bulunmaktadır.

Anakart üzerinde işlemciler 128 bit-167 MHz hızındaki yol üzerinden birbirleriyle ve diğer birimlerle haberleşmektedirler. Sunucunun diğer Sunucularla iletişimi 4 tane 10/100/10000 Base-T Ethernet ile gerçekleşmektedir.



Şekil 3.5: SunFire V210 anakart blok diyagramı [22].

BÖLÜM 4

HPCC BENCKMARK TEST SONUÇLAR

HPCC Benchmark testi sistem üzerinde ITU-Grid Sistemini oluşturan temel 3 yapı olan HP DL360, DL580 ve Stargate kümeleri üzerinde uygulanmıştır. HP sistemi üzerinde, testler sistemin sahip olduğu farklı iç bağlantı özelliklerini ve BLAS kütüphanesinin optimizasyonunun performans üzerine etkisini göstermek için 4 farklı set halinde uygulanmıştır. Herbir set farklı sayıdaki işlemci üzerinde, toplam belleğin yarı büyüklüğündeki problem boyutu üzerinde tekrarlanmıştır. Sistem üzerinde iç bağlantı ağ yapısını oluşturan birinci yapı olan Gigabit Ethernet üzerinde yapılan testler PGI programı içerisindeki MPI programı ile derlenmiş ve Giganet olarak adlandırılmıştır. Myrinet içbağlantı ağ yapısını kullanarak yapılan testler yine PGI programı içerisindeki MPICH-GM derleyicisi kullanılmış ve bu testler Myrinet olarak adlandırılmıştır. Her iki test grubunda da BLAS kütüphanesi olarak PGI derleyicisine ait kütüphaneler kullanılmıştır. Giganet ve Myrinet testlerinde özellikle HPL test sonuçlarında beklenen değerden çok daha düşük performans elde edilmesi sonucunda BLAS kütüphanesinin Intel işlemcilere göre eniyilenmiş halini içeren Intel® Optimized MP LINPACK Benchmark for Clusters 1.0 programı, HPCC Benchmark testi ile birleştirilerek Gigabit Ethernet ve Myrinet bağlantıları üzerindeki testler aynı şekilde tekrarlanmıştır. Bu test setlerinin adlandırılması ise Linpanck+Giganet ve Linpack+Myrinet olarak belirlenmiştir. Stargate kümesi üzerinde testler yine işlemci sayısı artırılarak toplam belleğin yarısı değerinde problem boyutu ile gerçekleştirilmiştir. Sistem üzerinde SUN-Solaris işletim sistemi derleyicileri ile Sunperf kütüphanesine ait BLAS rutinleri kullanılmıştır.

4.1 HPL Test Sonuçları

Tablo-4.1 DL360 sistemine ve Tablo-4.2 DL580 sistemine ait sonuçlar gösterilmektedir. Tablolarda HPL problem boyutu N , işlemcilerin sahip olduğu toplam bellek H olmak üzere $N = 0.5 * \sqrt{H/8}$ formülüne göre hesaplanmıştır.

Kullanılan Bellek değeri de yaklaşık olarak işlemcilerin sahip olduğu toplam bellek değerinin yarısına eşittir. N_b ve PxQ değeri eniyi performansın elde edildiği

iç matris boyutu ve grid yapısını göstermektedir. Teorik performans değeri Intel Xeon ve Sparc-v9 işlemciler için işlemci hızı ve işlemci sayısı çarpımının 2 katı olarak hesaplanmaktadır. Burada 2 değeri, işlemcinin 1 saat tıkkta yaptığı işlem sayısının göstermektedir ki bu değer sistemdeki işlemciler için 2 değerine eşittir. Maximum Performans değeri ise HPL testi sonucunda elde edilen değerdir. Her iki performans değeri birim zamanda yapılan gigabit değerinde işlem sayısını gösteren Gflops ile ifade edilmektedir. Yüzde değeri ise Maximum performans değerinin Teorik performans değerine yüzde olarak oranlamasından elde edilmektedir. Bu değer sistemlerdeki işlemci hızları farklı olduğu için, sistemlerin birbirleriyle karşılaştırmak için genel ölçüt oluşturmaktadır. Süre değeride sadece HPL testinde temel işlem olan LU ayrıştırması ile çözümü bulmak için geçen toplam süredir ve doğal olarak Maximum Performans değeriyle ters orantılı olarak değişmektedir.

Tablo-4.1 deki yüzde değerleri incelendiğinde Gigaset ve Myrinet testlerinde elde edilen performans değeri oldukça düşüktür. Ayrıca Myrinet bağlantısıyla işlemciler arasında haberleşme süresinin azalması ile performansın artması beklenirken Gigabit Ethernet bağlantısına göre performans yüzde 0.01 olarak azalmıştır. Performansın düşük olması, her iki test içinde PGI derleyicisinin BLAS kütüphanesinin Intel işlemciler için verimli olmadığını göstermektedir. HPL algoritmasında temel işlem olan matris-matris çarpımının önbelleği yoğun olarak kullandığı ve bellek kayıplarından oluşan performans düşüşünün toplam performansı etkilediği bilinmektedir. BLAS kütüphanesinin işlemciye uygun olarak yazılması durumunda önbellek kayıpları önlenerek sistemin daha verimli çalışması sağlanmaktadır. HPCC benchmark testine dahil edilen Intel BLAS kütüphanesiyle yapılan Linpack+Gigaset ve Linpack+Myrinet testlerinde performans artımı gözlenmiştir. Elde edilen performans Teorik performansın yaklaşık en çok yüzde 71' ine ulaşmıştır. Önceki test setlerinden farklı olarak Linpack test setlerinde Myrinet bağlantısı üzerinden yapılan testlerde iç ağ yapısı hızının artmasından dolayı performans artımında gözlenmiştir.

Tablo-4.2 de DL580 sunucusuna ait sonuçlar incelendiğinde Tablo-4.2'deki sonuçlara benzer şekilde oluşan sonuçlar gözlenmiştir. Gigaset ve Myrinet test setlerinde beklenen performanstan oldukça düşük değerler elde edilmiştir. Yine Myrinet bağlantısıyla elde edilen daha hızlı iç bağlantı performansı daha olumsuz etkilemiştir. Yine Linpack+Gigaset ve Linpack +Myrinet testleri ile eniyilenmiş BLAS kütüphanesi performansı artmıştır.

Tablo-4.3 de Stargate küme sistemine ait test sonuçları verilmiştir. Stargate sistemi üzerinde Sun Performance kütüphanesine ait BLAS rutinleri kullanılmıştır. Böylece sistemden elde edilen performans optimize edilmiş değerleri içermektedir. Sonuçlar incelendiğinde Sparc işlemcilerden elde edilen performans

Tablo 4.1: DL360 HPL test sonuçları

Giganet						
İşlemci	N	Bellek (GB)	Süre(sn)	Gflops	Peak Gflops	Yüzde
4	16000	2.05	1321.72	2.066	27.2	7.60
5	18000	2.59	1574.98	2.469	34.0	7.26
6	20000	3.20	1711.82	3.116	40.8	7.64
7	21000	3.53	1603.47	3.851	47.6	8.09
8	22000	3.87	1589.09	4.468	54.4	8.21
9	24000	4.61	2024.05	4.554	61.2	7.44
12	27000	5.83	2212.59	5.931	81.6	7.27
16	32000	8.19	2490.13	8.773	108.8	8.06
Myrinet						
İşlemci	N	Bellek (GB)	Süre(sn)	Gflops	Peak Gflops	Yüzde
4	16000	2.05	1376.14	1.985	27.2	7.30
5	18000	2.59	1159.11	2.494	34.0	7.34
6	20000	3.20	1832.00	2.912	40.8	7.14
7	21000	3.53	1953.95	2.935	47.6	6.17
8	22000	3.87	1703.53	4.167	54.4	7.66
9	24000	4.61	1988.14	4.636	61.2	7.58
12	27000	5.83	2146.82	6.113	81.6	7.49
16	32000	8.19	3174.07	6.883	108.8	6.33
Linpack+ Giganet						
İşlemci	N	Bellek (GB)	Süre(sn)	Gflops	Peak Gflops	Yüzde
4	16000	2.05	152.94	17.86	27.2	65.66
5	18000	2.59	172.43	22.55	34.0	66.32
6	20000	3.20	202.88	26.29	40.8	64.44
7	21000	3.53	210.70	29.31	47.6	61.58
8	22000	3.87	207.66	34.19	54.4	62.85
9	24000	4.61	252.73	36.47	61.2	59.59
12	27000	5.83	258.57	50.75	81.6	62.19
16	32000	8.19	340.69	64.13	108.8	58.94
Linpack+Myrinet						
İşlemci	N	Bellek (GB)	Süre(sn)	Gflops	Peak Gflops	Yüzde
4	16000	2.05	141.20	19.34	27.2	71.10
5	18000	2.59	168.21	23.12	34.0	68.00
6	20000	3.20	181.94	29.32	40.8	71.86
7	21000	3.53	186.01	33.20	47.6	69.75
8	22000	3.87	186.38	38.09	54.4	70.02
9	24000	4.61	220.42	41.82	61.2	68.33
12	27000	5.83	234.54	55.95	81.6	68.57
16	32000	8.19	297.26	73.50	108.8	67.56

Intel işlemcilere göre daha düşüktür. Bu durum üretici bazlı kütüphanelerin kullanılması ile gerçekleşir.

Şekil 4.1 de DL360 ile DL580 sistemleri için bütün test setlerinin ve Stargate

Tablo 4.2: DL580 HPL test sonuçları

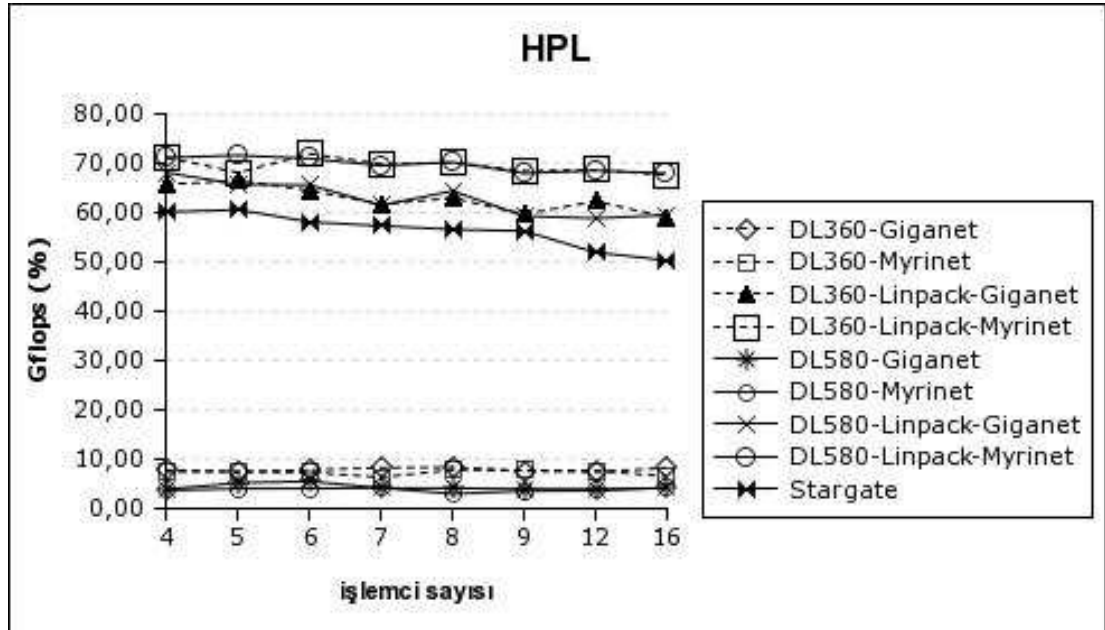
Giganet						
İşlemci	N	Bellek (GB)	Süre(sn)	Gflops	Peak Gflops	Yüzde
4	16000	2.05	2897.5	0.9426	25.3	3.73
5	18000	2.59	2463.71	1.5780	31.6	4.99
6	20000	3.20	2638.5	2.0220	37.9	5.33
7	21000	3.53	3539.04	1.7450	44.2	3.94
8	22000	3.87	3564.59	1.9920	50.6	3.94
9	24000	4.61	4283.84	2.1520	56.9	3.78
12	27000	5.83	4614.11	2.8440	75.8	3.75
16	32000	8.19	5500.99	3.9710	101.1	3.93
Myrinet						
İşlemci	N	Bellek (GB)	Süre(sn)	Gflops	Peak Gflops	Yüzde
4	16000	2.05	3095.21	0.8823	25.3	3.49
5	18000	2.59	3206.5	1.2130	31.6	3.84
6	20000	3.20	3630.88	1.4690	37.9	3.87
7	21000	3.53	3465.39	1.7820	44.2	4.03
8	22000	3.87	5041.44	1.4080	50.6	2.78
9	24000	4.61	4833.78	1.9070	56.9	3.35
12	27000	5.83	5012.03	2.6180	75.8	3.45
16	32000	8.19	5347.81	4.0850	101.1	4.04
Linpack+Giganet						
İşlemci	N	Bellek (GB)	Süre(sn)	Gflops	Peak Gflops	Yüzde
4	16000	2.05	158.92	17.19	25.3	68.00
5	18000	2.59	187.47	20.74	31.6	65.63
6	20000	3.20	214.71	24.84	37.9	65.51
7	21000	3.53	227.45	27.15	44.2	61.37
8	22000	3.87	218.42	32.50	50.6	64.28
9	24000	4.61	273.71	33.67	56.9	59.19
12	27000	5.83	294.66	44.54	75.8	58.73
16	32000	8.19	363.77	60.06	101.1	59.39
Linpack+Myrinet						
İşlemci	N	Bellek (GB)	Süre(sn)	Gflops	Peak Gflops	Yüzde
4	16000	2.05	152.07	17.96	25.3	71.04
5	18000	2.59	172.03	22.60	31.6	71.52
6	20000	3.20	198.51	26.87	37.9	70.86
7	21000	3.53	201.01	30.72	44.2	69.44
8	22000	3.87	200.28	35.45	50.6	70.11
9	24000	4.61	238.8	38.60	56.9	67.86
12	27000	5.83	252.85	51.90	75.8	68.43
16	32000	8.19	318.42	68.61	101.1	67.85

sisteminin performans yüzde değerleri çizilmiştir. Grafik incelendiğinde Giganet ve Myrinet testlerinde DL360 sisteminin DL580 sisteminden 2 kat daha fazla performans gösterdiği gözlenmiştir. Eniyilenmiş BLAS kütüphanesinin kullanımı ile

Tablo 4.3: Stargate HPL test sonuçları

Stargate					
İşlemci	N	Süre(sn)	Gflops	Peak Gflops	Yüzde
4	11180	182.37	5.10934	8.51	60.03
5	12500	202.42	6.43373	10.64	60.47
6	13693	231.16	7.40567	12.77	58.00
7	14790	253.22	8.51901	14.90	57.19
8	15811	274.07	9.61591	17.02	56.48
9	16771	292.44	10.75490	19.15	56.16
12	19365	366.02	13.22830	25.54	51.80
16	22361	436.01	17.09730	34.05	50.22

DL580 sisteminde daha iyi performans artımı gözlenerek her iki sistemde yaklaşık değerlere ulaşmıştır. Stargate sisteminde elde edilen değer HP sistemleri üzerinde PGI kütüphanesinden daha iyidir. Her üç sistem en iyi durumda kendilerine uygun BLAS kütüphanesi kullanıldığı durumda karşılaştırılabilir. Bu durumda da HP sistemleri SUN sisteminden daha verimli durumdadır. Bütün sistemlerde gözlenen işlemci sayısı artışı durumunda işlemciler üzerindeki iş değeri aynı kaldığı halde haberleşme süresinin artması dolayısıyla performans değeri düşmektedir.

**Şekil 4.1:** HPL test sonuçları

4.2 DGEMM Test Sonuçları

Tablo-4.4 de DL360 sistemine ve Tablo-4.5 de DL580 sistemine ait sonuçlar gösterilmektedir. Tablolarda problem boyutu HPL problem boyutuna göre be-

lirilenir ve çarpım işlemi yapılan kare matrisin boyutunu göstermektedir. Kullanılan bellek DGEMM testi tarafından çarpım işlemi sırasında kullanılan toplam belleği göstermektedir. DGEMM testinin asıl amacı sistemin belleği ne kadar hızlı kullandığını test etmektir. Bu amaçla kullanılan belleğin işlemcilerin toplam önbellek değerinden büyük olması daha anlamlı sonuçlar vermektedir. StarDgemm testi ile bütün işlemciler birbirinden bağımsız aynı anda çarpma işlemi yaparken elde edilen performans değerlerinin ortalaması gösterilmektedir. SingleDgemm testi ile de tek bir işlemcinin çarpma işlemi gerçekleştirirken elde edilen performans değeri gösterilmektedir. Bütün çarpma işlemlerinde BLAS3 kütüphanesi rutinleri kullanılmaktadır. İşlemcilerin birim zamanda yaptıkları işlemlerin, daha önce açıklandığı gibi işlemci saat hızlarının iki katına eşit olduğu gözönünde bulundurularak Yüzde kısımlarında elde edilen performansın olması gereken yani teorik performansa göre yüzdesi gösterilmiştir.

Tablo-4.4 de DL360 sisteminde farklı sayıdaki işlemciler üzerinde yapılan test sonuçları gözlenmektedir. Test tarafından kullanılan bellek değeri 0.12-0.13 GB civarındadır ve sistemin toplam 1MB L2 önbellek değerinden daha büyüktür. Giganet ve Myrinet test setlerinde elde edilen StarDgemm ve SingleDgemm yüzde değerleri olması gereken teorik performanstan oldukça düşüktür. SMP yapısında olan DL360 sunucusunda işlemciler aynı anda işlem yaparken ortak FSB üzerinden belleğe ulaşmaya çalışırlar. StarDgemm testinde örneğin işlemci sayısı 4 iken, her işlemci çifti aynı yolu kullanmaktadır. Aynı test setinde tek işlemci belleğe ulaşmaya çalışırken belleğe ulaşım hızı artmaktadır. StarDgemm test sonuçlarının SingleDgemm test sonuçlarına göre yüzde 3 oranında düşük olmasının sebebi, ortak olan FSB nin aynı anda kullanımdan doğan kayıptan kaynaklanmaktadır. İşlemci sayı tek olan testlerde, örneğin işlemci sayısı 5,7,9 gibi, StarDgemm test sonuçlarının 0.03-0.07 değerlerinde daha fazla olması yine tek işlemcinin FSB yolunu tek başına kullanmasından kaynaklanmaktadır. HPL testinde olduğu gibi DGEMM testinde BLAS kütüphanesinin eniyilenmesi büyük önem taşımaktadır. Linpack+Gigabit ve Linpack+Myrinet test setlerinde Intel BLAS kütüphanesinin kullanılmasıyla beraber performans değerleri oldukça artmaktadır ve teorik performansı olan $2*3.4=6.8$ Gflops değerine yaklaşık olarak yüzde 80 değerinde ulaşmaktadır. Diğer önemli bir nokta bu test setlerinde StarDgemm ile SingleDgemm değerleri arasında fark olmamasıdır. Intel tarafından üretilen BLAS kütüphanesi çalışırken işlemcinin yapısına göre farklı sayı da yollar üreterek işlemcilerin aynı FSB üzerinden belleğe ulaşmaları sonucun oluşan çakışmayı yok etmektedir.

DGEMM testi DL580 sistemi de Tablo-4.5 de görüldüğü gibi benzer davranış sergilemektedir. Teorik performans değeri $2*3.16 = 6.32$ Gflops değerine eşittir. Giganet ve Myrinet testlerinde içbağılantı hızının Dgemm testi açısından bir önemi

Tablo 4.4: DL360 DGEMM test sonuçları

Giganet					
İşlemci	StarDgemm Gflops	Yüzde-Star	SigleDgemm	Yüzde-Single	
4	0.4762	7.00	0.7627	11.22	
5	0.5329	7.84	0.7637	11.23	
6	0.4744	6.98	0.7965	11.71	
7	0.5148	7.57	0.7578	11.14	
8	0.4764	7.01	0.7887	11.60	
9	0.5060	7.44	0.7633	11.22	
12	0.4704	6.92	0.7889	11.60	
16	0.4672	6.87	0.7637	11.23	
Myrinet					
İşlemci	StarDgemm Gflops	Yüzde-Star	SigleDgemm	Yüzde-Single	
4	0.4753	6.99	0.7595	11.17	
5	0.5337	7.85	0.7589	11.16	
6	0.4734	6.96	0.7897	11.61	
7	0.5083	7.48	0.7547	11.10	
8	0.4747	6.98	0.7836	11.52	
9	0.5085	7.48	0.7625	11.21	
12	0.4735	6.96	0.7803	11.48	
16	0.4732	6.96	0.7608	11.19	
Linpack+Giganet					
İşlemci	StarDgemm Gflops	Yüzde-Star	SigleDgemm	Yüzde-Single	
4	5.6587	83.22	5.7548	84.63	
5	5.6384	82.92	5.7253	84.20	
6	5.4947	80.80	5.6232	82.70	
7	5.3866	79.21	5.4990	80.87	
8	5.5059	80.97	5.6133	82.55	
9	5.6764	83.48	5.7579	84.67	
12	5.4796	80.58	5.5948	82.28	
16	5.6589	83.22	5.7427	84.45	
Linpack+Myrinet					
İşlemci	StarDgemm Gflops	Yüzde-Star	SigleDgemm	Yüzde-Single	
4	5.6728	83.42	5.7655	84.79	
5	5.6347	82.86	5.6959	83.76	
6	5.4456	80.08	5.6057	82.44	
7	5.3977	79.38	5.5164	81.12	
8	5.4623	80.33	5.5904	82.21	
9	5.6728	83.42	5.7652	84.78	
12	5.4803	80.59	5.5425	81.51	
16	4.6828	68.86	5.7105	83.98	

olmadığı birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu testlerdeki StarDgemm ve SingleDgemm testleri SMP-MP yapısında olan işlemcilerin FSB üzerinden belleğe

bağlanma hızları hakkında bilgi vermektedir. 4 işlemcinin aynı anakart üzerinde bulunduğu bu yapılarda işlemciler 2 şerli gruplar halinde ortak FSB yolunu kullanmaktadırlar. Yine tek sayılı işlemci testlerinde çift sayılı işlemci testlerine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. SingleDgemm testi ile tek işlemcinin belleğe bağlanırken daha hızlı eriştiği gözlenmektedir. Tabloda dan görüldüğü gibi BLAS kütüphanesinin optimizasyonu ile işlemciler yüzde yüz performans göstermektedir.

Tablo-4.6 Stargate sistemi üzerinde yapılmış test sonuçları verilmiştir. Sistemin Teorik performans değeri 2.12 Gflops değerine eşittir. Bu değere bağlı olarak işlemciler Star ve SingleDgemm testlerinde yüzde eliye yakın performans göstermektedirler. HP sistemine göre daha düşük performans gösteren SUN sistemi BLAS kütüphanesinin en iyilenmiş halinde bu değere ulaşmaktadır. Ayrıca sistem üzerinde FSB ortak kullanılmadığı için Single ile Star Dgemm testleri arasında fark değeri çok azdır.

Şekil 4.2’de DL360 ile DL580 sistemlerinin Single ve Stardgemm test sonuçları beraber gösterilmiştir. Myrinet bağlantı hızının DGEMM test sonuçları üzerinde etkisi bulunmadığı için Myrinet içeren set setleri gösterilmemiştir. Şekil incelendiğinde DL580 sisteminin performans değerlerinin DL360 sisteminin performans değerlerinin yaklaşık yarısına eşit olduğu gözlemiştir. İki sistemde işlemcilerin belleğe ulaşma yolları incelediğinde ; DL360 sistemindeki her bir düğümde bulunan iki işlemci 800 MHz ortak FSB üzerinden çipsete oradan 166 MHz hızında 2.7 GB/sn bantgenişliğindeki yol üzerinden 2GB lık belleğe bağlanmaktadır. DL580 sisteminde ise her bir düğümde bulunan 4 işlemci 2 şer grup halinde 667 MHz değerinde ortak FSB üzerinden çipsete daha sonra 4 işlemci 2.7 GB/s değerindeki yol üzerinden 4GB’lık belleğe bağlanmaktadır. DL580 sistemindeki performans kaybı, bu sistemindeki 4 işlemcinin aynı anda, DL360 sisteminde 2 işlemcinin belleğe bağlandıkları aynı bantgenişliğine (2.7 GB/s) sahip yol üzerinden belleğe bağlanmaya çalışmalarından kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.3’ te DL360 ile DL580 sistemleri üzerinde Linpack+Giganet test set ile Stargate sistemine ait Star ve SingleDgemm test sonuçları verilmiştir. Şekil 4.2 ile karşılaştırıldığında HP sistemlerinde eklenen eniyilenmiş BLAS kütüphanesinin her bir işlemci performansı teorik performansa yaklaşık yüzde 80 oranında yaklaştırdığı gözlenmiştir. Bununla beraber, her iki sistemdeki işlemcilerin bellek ulaşırken kullandıkları ortak yolların yapısından dolayı SingleDgemm sonuçları, StarDgemm sonuçlarına göre daha iyi sonuç vermektedir. Ayrıca DL580 sistemindeki her bir düğümdeki 4 işlemcinin 2.7 GB/s değerindeki yol üzerinden belleğe bağlanmaya çalışmaları bu sistemdeki StarDgemm sonuçlarının daha düşük olmasına sebep olmaktadır. HP sistemlerindeki SingleDgemm sonuçları kontrol edildiğinde DL360 sistemindeki FSB değerinin, DL580 sistemindeki FSB

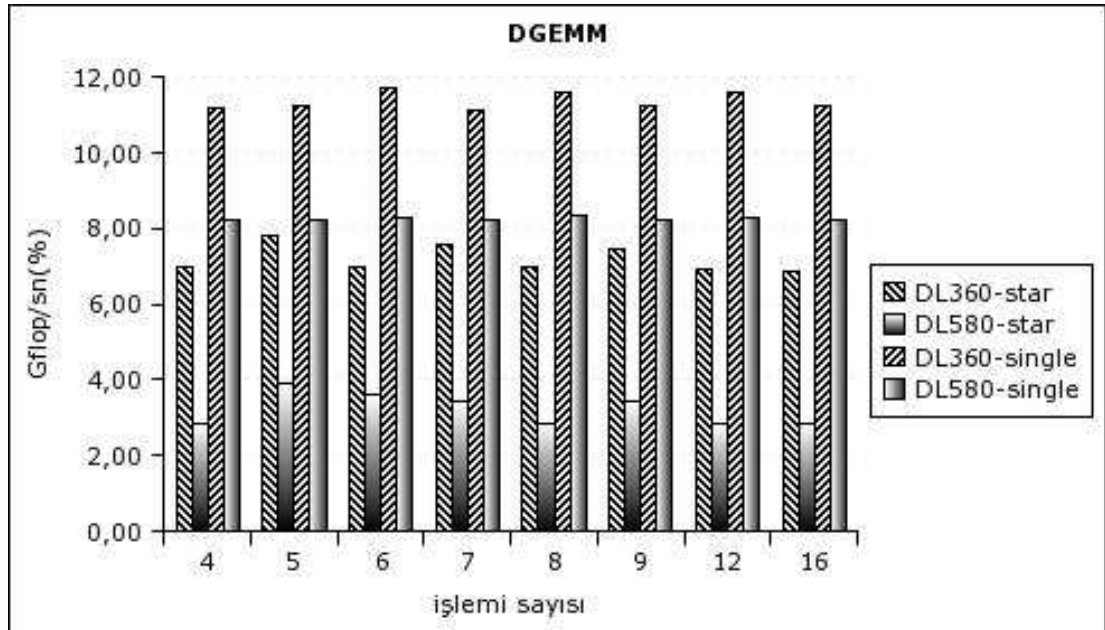
Tablo 4.5: DL580 DGEMM test sonuçları

Giganet					
İşlemci	StarDgemm Gflops	Yüzde-Star	SigleDgemm	Yüzde-Single	
4	0.1806	2.86	0.5197	8.22	
5	0.2483	3.93	0.5192	8.22	
6	0.2292	3.63	0.5253	8.31	
7	0.2181	3.45	0.5195	8.22	
8	0.1806	2.86	0.5260	8.32	
9	0.2183	3.45	0.5214	8.25	
12	0.1806	2.86	0.5245	8.30	
16	0.1807	2.86	0.5201	8.23	
Myrinet					
İşlemci	StarDgemm Gflops	Yüzde-Star	SigleDgemm	Yüzde-Single	
4	0.1802	2.85	0.5230	8.28	
5	0.2488	3.94	0.5234	8.28	
6	0.2324	3.68	0.5259	8.32	
7	0.2143	3.39	0.5205	8.24	
8	0.1798	2.85	0.5316	8.41	
9	0.2179	3.45	0.5227	8.27	
12	0.1802	2.85	0.5249	8.30	
16	0.1802	2.85	0.5235	8.28	
Linpack+Giganet					
İşlemci	StarDgemm Gflops	Yüzde-Star	SigleDgemm	Yüzde-Single	
4	5.1003	80.70	5.2937	83.76	
5	5.1335	81.23	5.2571	83.18	
6	4.9607	78.49	5.0839	80.44	
7	4.9354	78.09	5.0614	80.08	
8	4.9796	78.79	5.1077	80.82	
9	5.1487	81.47	5.2963	83.80	
12	4.9058	77.62	5.1323	81.21	
16	5.1279	81.14	5.2928	83.75	
Linpack+Myrinet					
İşlemci	StarDgemm Gflops	Yüzde-Star	SigleDgemm	Yüzde-Single	
4	5.1433	81.38	5.3015	83.89	
5	5.1493	81.48	5.2714	83.41	
6	4.9721	78.67	5.0908	80.55	
7	4.9468	78.27	5.0697	80.22	
8	4.9883	78.93	5.1489	81.47	
9	5.1293	81.16	5.3112	84.04	
12	4.9886	78.93	5.1624	81.68	
16	5.1374	81.29	5.2775	83.50	

değerinden daha büyük değerlerde olması bu sistemdeki SingleDgemm sonuçlarının daha iyi olmasını sağlamıştır. Stargate sistemi ise HP sistemlerine göre

Tablo 4.6: Stargate DGEMM test sonuçları

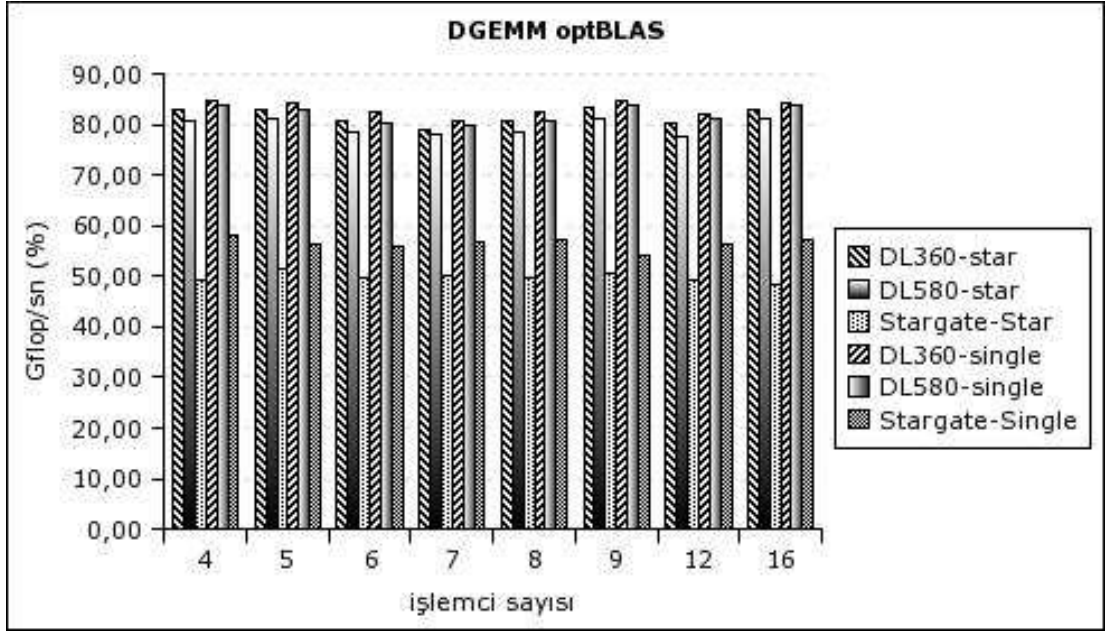
Giganet					
İşlemci	StarDgemm Gflops	Yüzde-Star	SigleDgemm	Yüzde-Single	
4	0.9239	49.15	1.0900	57.99	
5	0.9660	51.39	1.0567	56.21	
6	0.9362	49.81	1.0540	56.07	
7	0.9459	50.32	1.0663	56.73	
8	0.9326	49.62	1.0785	57.37	
9	0.9513	50.61	1.0149	53.99	
12	0.9308	49.52	1.0625	56.53	
16	0.9134	48.59	1.0784	57.37	

**Şekil 4.2:** DL360 ve DL580 DGEMM Giganet test seti sonuçları

daha düşük performans göstermiştir. Bu sistem üzerinde belleğe ulaşım yolu 167 MHz olduğu düşünülürse SUN sistemi üzerinde performans kaybı FSB değerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

4.3 PTRANS Test Sonuçları

PTRANS testi matrisin devrik değerini paralel olarak hesaplar. Hesaplama işlemi sırasında işlemciler arasında veri iletim hızını test ederek sistemin iç haberleşme kapasitesi hakkında bilgi vermektedir. Tablo-4.7 de HP sunucuların PTRANS test sonuçları verilmiştir. Problem Boyutu HPCC benchmark test tarafından HPL problem boyutunun yarısı olacak şekilde hesaplanmıştır. Devrik alma işlemi oluşturulan PxQ gridi üzerinde matrisin Nb boyutunda küçük ma-



Şekil 4.3: DL360, DL580 DGEMM Linpack+Giganet test seti ve Stargate Dgemm sonuçları

trislere bölünmesiyle gerçekleştirilir. Süre değeri ise sadece devrik alma işlemi sırasında geçen süreyi göstermektedir.

Tablo-4.7 değerleri incelendiğinde Myrinet iç bağlantı hızı sayesinde Myrinet test setlerinde GB/s değerleri artmıştır. Sistemde bulunun Gigabit Ethernetin değeri 1GB/sn ve Myrinet bağlantısının değeri 2 GB/s değerindedir. Linpack test setlerinde eniyilenen BLAS kütüphanesinin beklendiği gibi test sonuçlarına hiçbir etkisi olmamıştır.

Tablo-4.8 de Stargate küme sistemine ait test sonuçları verilmiştir. Stargate sistemi üzerinde iç haberleşme 100/1000 MHz Ethernet ile sağlanmaktadır. Grafik değerlendirildiğinde Stargate kümesi üzerinde en iyi şekilde haberleştiği görülmektedir.

Şekil 4.4 DL360 ile DL580 sistemleri üzerinde Gigabit ve Myrinet test setleri ile Stargate sunucusu PTRANS test sonuçları gösterilmiştir. DL360 sisteminde Myrinet bağlantısının kullanılması ile beraber GB/s değerinin Gigabit Ethernet değerine göre yaklaşık 4 kat arttığı gözlenmiştir. Aynı durumda DL580 sistemi üzerinde Myrinet bağlantısı ile GB/s değeri 2 katına çıkmıştır. DL360 sisteminde 16 işlemcide Myrinet üzerinde elde edilen GB/s değeri sistemdeki ağ yapısının verimli kullanıldığını göstermektedir. Test sonuçları sadece 4 işlemci için incelendiğinde DL580 sisteminde gerçekleşen devrik alma işlemi aynı düğüm içindeki işlemciler tarafından gerçekleştirilmiştir. DL360 sisteminde ise bu işlem 2 düğüm arasında gerçekleştiği için elde edilen sonuç Giganet test setinde 0.08 GB/s, Myrinet test setinde ise 0.6 GB/s değerinde daha azdır. İşlemci sayısı arttıkça her iki sistemde de GB/S değerinin arttığı gözlenmektedir. Bu durum büyüyen prob-

Tablo 4.7: DL360 ve DL580 PTRANS test sonuçları

Gigabit					
		DL360		DL580	
İşlemci	N	Süre (sn)	GB/s	Süre (sn)	GB/s
4	8000	3.00	0.170	2.21	0.2311
5	9000	3.94	0.164	3.16	0.2053
6	10000	4.62	0.173	3.96	0.2017
7	10500	4.26	0.206	4.38	0.2015
8	11000	4.10	0.236	4.68	0.2064
9	12000	4.86	0.237	5.37	0.2143
12	13500	5.03	0.289	5.54	0.2635
16	16000	5.24	0.390	6.59	0.3108

Myrinet					
İşlemci	N	Süre (sn)	GB/s	Süre (sn)	GB/s
4	8000	1.27	0.4036	1.34	0.3820
5	9000	1.45	0.4456	1.40	0.4621
6	10000	1.66	0.4809	1.80	0.4437
7	10500	1.57	0.5605	1.95	0.4526
8	11000	1.33	0.7280	2.47	0.3916
9	12000	1.63	0.7055	2.42	0.4760
12	13500	1.60	0.9096	2.35	0.6194
16	16000	1.67	1.2235	3.04	0.6734

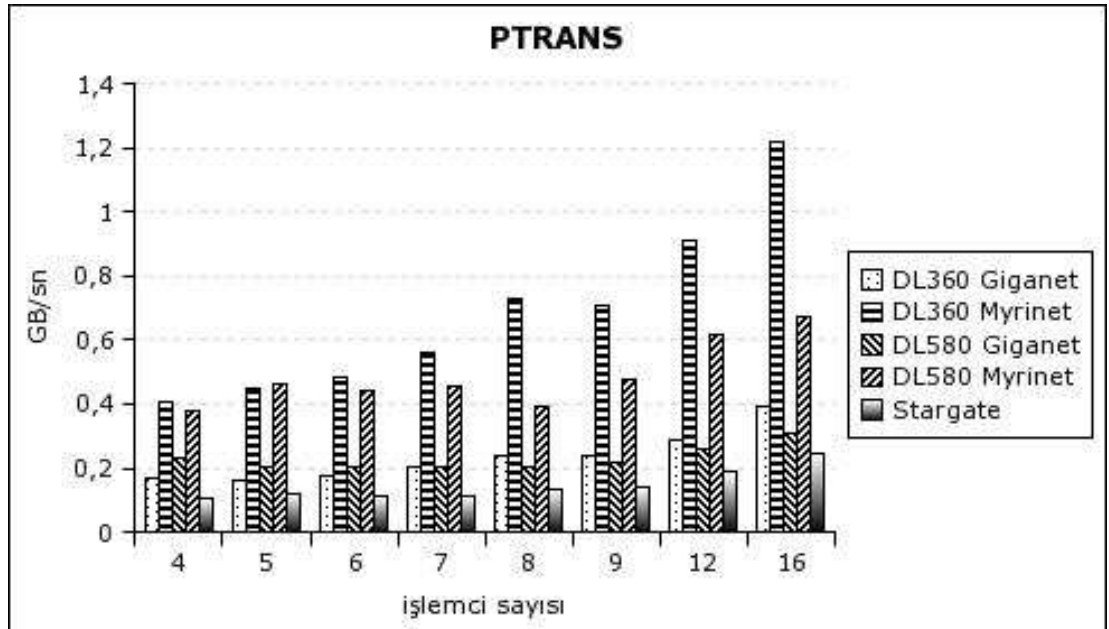
Linpack+Giganet					
İşlemci	N	Süre (sn)	GB/s	Süre (sn)	GB/s
4	8000	3.04	0.1682	2.19	0.2336
5	9000	4.06	0.1595	3.15	0.2058
6	10000	4.71	0.1699	4.06	0.1971
7	10500	4.57	0.1931	4.38	0.2016
8	11000	4.14	0.2337	4.66	0.2078
9	12000	4.79	0.2403	5.45	0.2112
12	13500	5.09	0.2866	6.17	0.2363
16	16000	5.21	0.3933	6.47	0.3164

Linpack+Myrinet					
İşlemci	N	Süre (sn)	GB/s	Süre (sn)	GB/s
4	8000	1.26	0.4063	1.34	0.3810
5	9000	1.47	0.4411	1.39	0.4672
6	10000	1.75	0.4576	1.78	0.4484
7	10500	1.53	0.5746	1.96	0.4507
8	11000	1.37	0.7082	2.01	0.4808
9	12000	1.68	0.6866	2.40	0.4791
12	13500	1.60	0.9107	2.41	0.6050
16	16000	1.68	1.2219	2.80	0.7301

Tablo 4.8: Stargate PTRANS test sonuçları

Stargate			
İşlemci	N	Süre (sn)	GB/s
4	5590	2.40	0.1039
5	6250	2.62	0.1194
6	6846	3.30	0.1136
7	7395	3.97	0.1101
8	7905	3.70	0.1349
9	8385	3.92	0.1433
12	9682	3.92	0.1915
16	11180	4.02	0.2487

lem boyutuyla iletilen verinin büyümesiyle sahip olunan ağ yapısının daha verimli kullanılması sonucunda gerçekleşmiştir. Stargate sistemi üzerinde haberleşme 1

**Şekil 4.4:** DL360 ve DL580 Gigabit ve Myrinet test seti ve Stargate PTRANS test sonuçları

Gigabit Ethernet ile sağlanmaktadır. Bu sistem üzerinde 16 işlemci ile yapılan test sonuçları HP sistemleri üzerinde Gigabit Ethernet üzerinde yapılan test sonuçlarından daha düşüktür. HP lerde GB/s değeri 0.4-0.3 civarında iken SUN sisteminde 0.25 civarındadır. Test sonuçları elde edilirken sistem tamamen dolu halde çalışmaktayken elde edilmiştir.

4.4 STREAM Test Sonuçları

Tablo-4.9 da DL360 ve DL580 sistemindeki 12 işlemci üzerinde koşturulan Stream test sonuçları gösterilmiştir. Testin her tekrarında Stream Benchmark içinde kullanılan vektör boyutu artırılmıştır. Stream testinin anlamlı sonuçlar verebilmesi için kullanılan 3 vektörün bellekte kapladığı toplam alan işlemcilerin toplam önbellek değerinden büyük olmalıdır. Testler küçük boyuttaki vektörler üzerinde yapıldığında sonuçlar 0 değerine yakın çıkmaktadır. Vektör boyutları tabloda da görüldüğü gibi herbir işlemci de en fazla 1.55 GB yer kaplayacak kadar artırılmıştır.

Stream testi ile işlemcilerin belleğe ulaşım hızları incelenmiştir. Copy işleminde bellek üzerinde 1 okuma ve 1 yazma, Scale işlemi ile 1 okuma ve 1 yazma işlemi, Add işleminde 2 okuma ve 1 yazma işlemi ve Triad işlemi sırasında 2 okuma ve 1 yazma işlemleri sırasında kullanılan bantgenişliği ölçülmüştür. Stream testi Dgemm testi gibi Star ve Single olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir. StarStream testinde herbir işlemci bağımsız olarak Stream benchmark testini gerçekleştirmekte ve sonuç olarak ortalama değerler verilmektedir. SingleStream testinde ise seçilen tek işlemci üzerinde benchmark gerçekleştirilir.

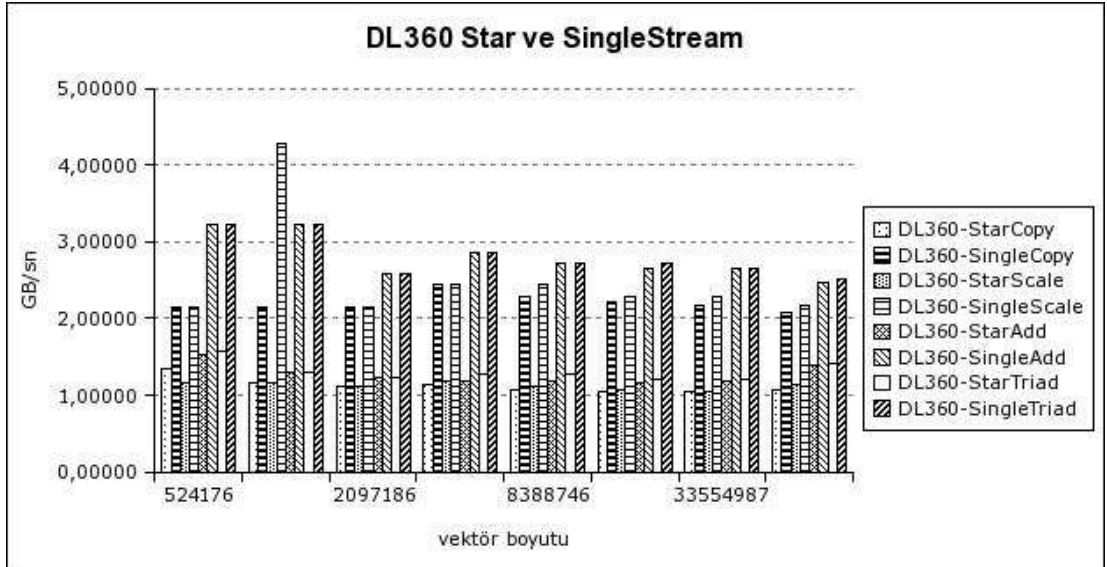
Tablo-4.9'deki DL580 sistemine ait Star ve SingleStream sonuçları incelendiğinde; DL580 sistemlerinde 2 li işlemciler 5.3 GB/s bantgenişliğindeki FSB üzerinden çipset, 4 işlemci ise buradan okuma bantgenişliği 5.3 GB/s ve yazma bantgenişliği 2.7 GB/s olan yol üzerinden belleğe bağlanmaktadır. Bu bağlamdan SingleStream sonuçları değerlendirildiğinde; genel olarak en çok 2.0 GB/s değerine ulaşmaktadır. Sistem üzerinde DL360 sisteminden daha iyi özellikler sunan XMB yapısı, FSB hız değerinin düşük olması dolayısıyla sahip yüksek bantgenişliği verimli kullanılamamaktadır. Bantgenişliğinin daha yüksek olması StarStream sonuçlarında gözlenebilmektedir. Starstream Sonuçlarında 4 işlemci aynı yolu kullanmasına rağmen elde edilen sonuçlar SingleStream sonuçlarının yarısına eşit olmaktadır.

Şekil 4.5 DL360 sistemi üzerinde Star ve Single Stream sonuçları gösterilmektedir. Edinilen bilgiler doğrultusundan DL360 sistemindeki işlemciler 2.7 Gb genişliğindeki yol üzerinde belleğe ulaşmaktadır. SingleStream sonuçlarında vektör boyutu artırılarak tekrarlanan test sonuçlarında şunlar gözlenmiştir. Single Stream ile sistemin sahip olduğu 2.7 GB/s bant genişliğinin yaklaşık 2.5 GB/s değerine kadar kullanıldığı gözlenmiştir. Ayrıca Triad ve Add işlemlerinde 3 vektör kullanılarak bantgenişliği daha verimli kullanılmıştır. StarStream test sonuçlarında ise 2 işlemcinin aynı bantgenişliğini kullanması herbir vektör boyutu için tekrarlanan sonuçlarda elde edilen sonuçlar SingleStream sonuçlarının yaklaşık yarısına eşittir.

Tablo 4.9: STREAM test sonuçları

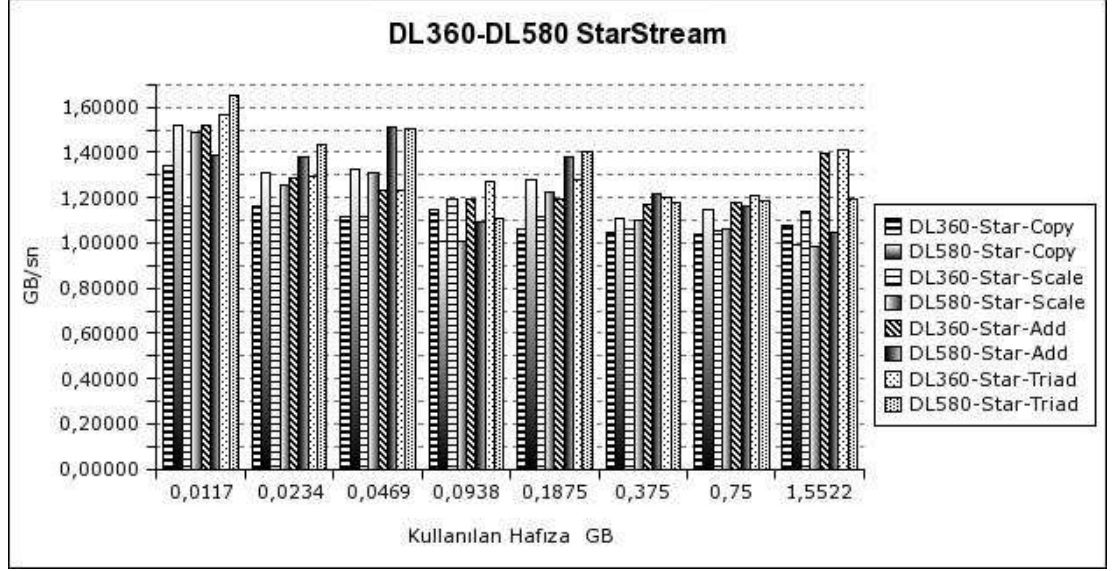
DL360 Gigabit									
		StarStream GB/s				SingleStream GB/s			
N	Bellek	Copy	Scale	Add	Triad	Copy	Scale	Add	Triad
524176	0.012	1.342	1.163	1.521	1.565	2.147	2.147	3.220	3.220
1048576	0.023	1.163	1.163	1.288	1.297	2.147	4.295	3.221	3.221
2097186	0.047	1.112	1.112	1.232	1.230	2.148	2.147	2.577	2.577
4194304	0.094	1.146	1.190	1.192	1.268	2.454	2.454	2.863	2.863
8388746	0.188	1.065	1.116	1.191	1.279	2.291	2.454	2.712	2.712
16777216	0.375	1.043	1.058	1.169	1.202	2.216	2.291	2.643	2.712
33554987	0.75	1.041	1.051	1.177	1.207	2.181	2.291	2.643	2.643
69444444	1.552	1.074	1.137	1.396	1.411	2.076	2.171	2.480	2.509

DL580 Gigabit									
		StarStream GB/s				SingleStream GB/s			
N	Bellek	Copy	Scale	Add	Triad	Copy	Scale	Add	Triad
524176	0.012	1.521	1.491	1.387	1.655	2.147	2.147	3.220	3.221
1048576	0.023	1.312	1.253	1.378	1.437	2.147	2.147	2.147	2.147
2097186	0.047	1.324	1.308	1.510	1.506	2.147	2.147	2.147	2.147
4194304	0.094	1.009	1.007	1.096	1.104	1.908	1.908	2.147	1.982
8388746	0.188	1.282	1.222	1.377	1.401	1.908	1.908	2.061	1.982
16777216	0.375	1.109	1.098	1.221	1.182	1.857	1.808	2.021	2.021
33554987	0.750	1.150	1.065	1.162	1.188	1.808	1.808	2.002	2.021
69444444	1.552	0.991	0.980	1.043	1.190	1.811	1.800	2.032	2.022

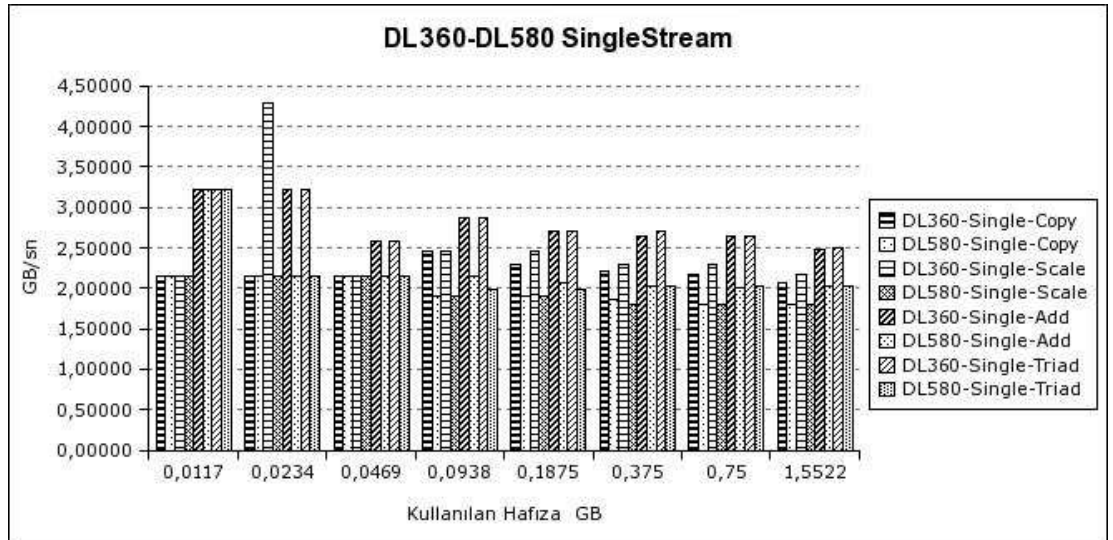
**Şekil 4.5:** DL360 STREAM test sonuçları

Yukarıda belirtilen durum Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 ile ifade edilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.6 de iki sistem arasında SingleStream sonuçları karşılaştırılmıştır. Gözlenen durum, vektör boyutlar düşük olduğu durumlarda sistem benzer değerler üretmiş-

tir. Vektör boyutu artıkça DL360 sistemi tarafından belleğe ulaşım da kullanılan bantgenişliği daha yüksektir. Bantgenişliğinin artması işlem hızını artırdığı bilinen bir gerçektir. Şekil 4.7 de ise StarStream sonuçları karşılaştırılmaktadır. Düşük boyutlu testler DL580 sistemi daha iyi sonuç vermektedir. Vektör boyutu arttıkça, DL360 sistemi daha iyi sonuç vermeye başlamıştır. Bu durumda DL360 sistemin sahip olduğu daha yüksek hıza sahip FSB değeri bu sonuç üzerinde etkilidir.



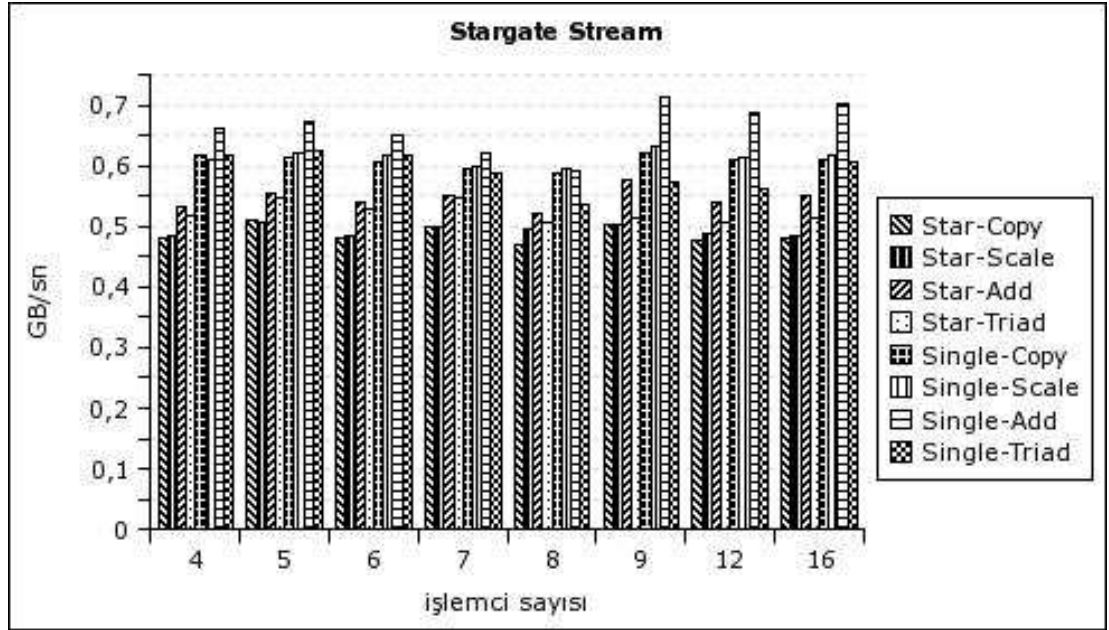
Şekil 4.6: DL360 DL580 StarSTREAM test sonuçları



Şekil 4.7: DL360 DL580 SingleSTREAM test sonuçları

Şekil 4.8 de Stargate sistemine ait test sonuçları verilmiştir. Sonuçlardan

da görülebileceği gibi star ve single stream değerleri arasındaki fark DL360 ve DL580 sistemlerinden daha azdır. İşlemciler kendilerine ait FSB üzerinden haberleşmektedir.



Şekil 4.8: Stargate STREAM test sonuçları

4.5 Rastgele Erişim (RandomAccess) Test Sonuçları

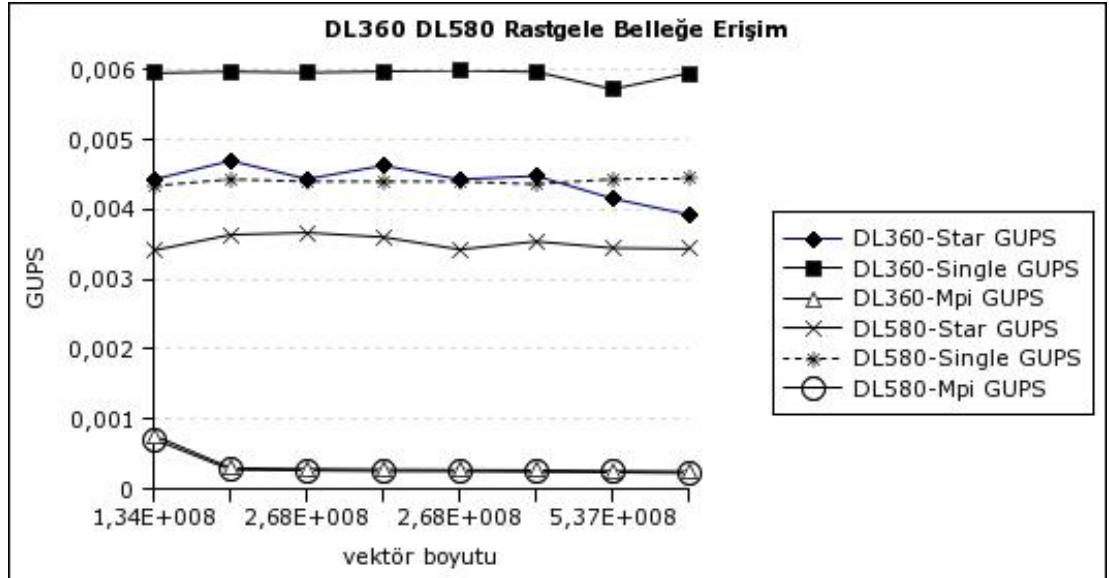
RandomAccess benchmark programı Stream Benchmark gibi işlemcilerin belleği ne kadar verimli kullandıklarını test etmektedir. Tablo-4.10'da DL360 ve DL580 sistemlerine ait RandomAccess sonuçları gösterilmektedir. GUPS değeri birim zamanda bellek yapılabilen yenileme sayısını göstermektedir ve bu değer büyüdükçe bellek kayıplarının önlenerek belleğin daha verimli kullanıldığını göstermektedir. RandomAccess MPI, Star ve Single RandomAccess olmak üzere 3 şekilde çalıştırılmaktadır. Tablodaki vektör boyutu HPL problem boyutu ve işlemci sayısına göre belirlenmektedir. Temel olarak HPL testinde problem boyutu belleğin yarısını oluşturacak şekilde oluşturulduğu için belirli testlerde kullanılan vektör boyutu aynı değer olarak program tarafından hesaplanmıştır.

Şekil 4.9 ile her iki sisteme ait tüm test sonuçları beraber gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde DL360 sisteminde bellek kayıplarının DL580 sistemine göre daha az olduğu görülmektedir. Stream Benchmark bölümünde değinildiği gibi FSB değerinin daha hızlı olması nedeniyle sistem daha hızlı belleğe ulaşabilmektedir.

Tablo-4.11'da Stargate sistemi üzerinde yapılan RandomAccess test sonuçları

Tablo 4.10: Rastgele Belleğe Erişim test sonuçları

DL360 Gigabit					
	MPI GUPS		GUPS		
işlemci	vek-n	MPI-GUPS	vek-n	Star-GUPS	Single-GUPS
4	134217728	0.000762739	33554432	0.00443278	0.00595386
5	268435456	0.000300246	33554432	0.00469892	0.00597561
6	268435456	0.000287397	33554432	0.00443744	0.00596006
7	268435456	0.000280243	33554432	0.00463042	0.00597873
8	268435456	0.000273230	33554432	0.00443308	0.00599228
9	536870912	0.000269573	33554432	0.00448165	0.00597145
12	536870912	0.000258365	33554432	0.00415957	0.00572376
16	536870912	0.000250828	33554432	0.00392822	0.00595077
DL580 Gigabit					
	MPI GUPS		GUPS		
işlemci	vek-n	MPI-GUPS	vek-n	Star-GUPS	Single-GUPS
4	134217728	0.000710373	33554432	0.00341738	0.0043411
5	268435456	0.000276277	33554432	0.00364041	0.0044341
6	268435456	0.000265956	33554432	0.00366956	0.0044022
7	268435456	0.000255866	33554432	0.00360575	0.0044017
8	268435456	0.000254474	33554432	0.00342846	0.0044017
9	536870912	0.000246382	33554432	0.00354358	0.0043637
12	536870912	0.00023931	33554432	0.00344961	0.0044364
16	536870912	0.000228401	33554432	0.00343817	0.0044432

**Şekil 4.9:** DL360 ve DL580 sistemlerine ait Rastgele Belleğe Erişim test sonuçları

gösterilmiştir. Artan işlemci sayısına göre yapılan testlerde her bir işlemci için Star ve Single RandomAccess testlerinde vek-n olarak gösterilen T tablosunun boyut

değeri toplam bellek değerinin yarısını kaplayacak şekilde oluşturulmuştur. Stargate sisteminde elde edilen GUPS değerleri HP sistemlere göre daha yüksektir. SunFire v210 sunucularında işlemciler kendilerine ait hafızaya 222 MHz hız ile ulaşmaktadırlar bu anlamda her üç sistem belleğe erişim hızı açısından incelendiğinde Stargate sistemi daha düşük yenileme kapasitesine sahiptir.

Tablo 4.11: Stargate Rastgele Belleğe Erişim test sonuçları

Stargate					
	MPI GUPS		GUPS		
işlemci	vek-n	MPI-GUPS	vek-n	Star-GUPS	Single-GUPS
4	67108864	0.00105580	16777216	0.00323498	0.00361
5	134217728	0.00122137	16777216	0.00328688	0.00342
6	134217728	0.00135309	16777216	0.00323704	0.00350
7	134217728	0.00156100	16777216	0.00326768	0.00344
8	134217728	0.00177806	16777216	0.00323769	0.00347
9	268435456	0.00180788	16777216	0.00327354	0.00341
12	268435456	0.00230648	16777216	0.00322683	0.00342
16	268435456	0.00285964	16777216	0.00322278	0.00351

4.6 FFT Test Sonuçları

FFT dönüşümü algoritmasında, haberleşme süresi toplam işlem süresinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu anlamda sistem üzerinde yapılan haberleşme hızın artıran iyileştirmeler FFT test sonuçlarını iyileştirmiştir. Haberleşme hızı artım oranına bağlı olarak Myrinet testlerinde Giganet değerleri 2.5 katına çıkmaktadır.

Tablo-4.12 ve Tablo-4.13’de DL360 ve DL580 sistemlerine ait Mpi FFT test sonuçları verilmiştir. FFT testi DGEMM testi gibi birim zamanda yapılan işlem sayısını Gflop/s cinsinden ölçmektedir. Tablolarda vektör boyutu olarak gösterilen kısım HPL problem boyutuna ve işlemci sayısına göre belirlenmiştir. Tablolar incelendiğinde işlemci sayısı artırıldığında vektör boyutu artmasıyla beraber Gflop/s değeri de artmıştır. Küçük işlemcili testlerde Giganet ile Myrinet testlerinde, Myrinetten elde edilen sonuç yaklaşık olarak 2 kat fazla iken işlemci sayısı artmasıyla beraber haberleşme yükü artıkça Giganet ile Myrinet arasındaki fark azalmıştır. DL360 ile DL580 sistemleri karşılaştırıldığında 4 işlemci testlerde DL580 sisteminde daha iyi sonuçlar elde edilirken işlemci sayısı artıkça DL360 sistemi daha iyi sonuç vermeye başlamıştır. Bu durum DL580 sisteminde işlemcilerin aynı işlemci sunucu üzerinde olduğu haberleşme süresi daha azdır. İşlemci sayısı artıkça bu durum FSB değeri etkisiyle DL360 sistemi lehine dönüşmüştür.

Tablo 4.12: DL360 MPI FFT test sonuçları

DL360 MPI FFT			
İşlemci sayısı	vektör boyutu	Giganet	Myrinet
4	16777216	0.271118	0.429595
5	16777216	0.269559	0.433516
6	16777216	0.272985	0.394222
7	16777216	0.265805	0.431078
8	33554432	0.444614	0.725696
9	33554432	0.420087	0.652783
12	33554432	0.413137	0.663070
16	67108864	0.763811	0.913992

Tablo 4.13: DL580 MPI FFT test Sonuçları

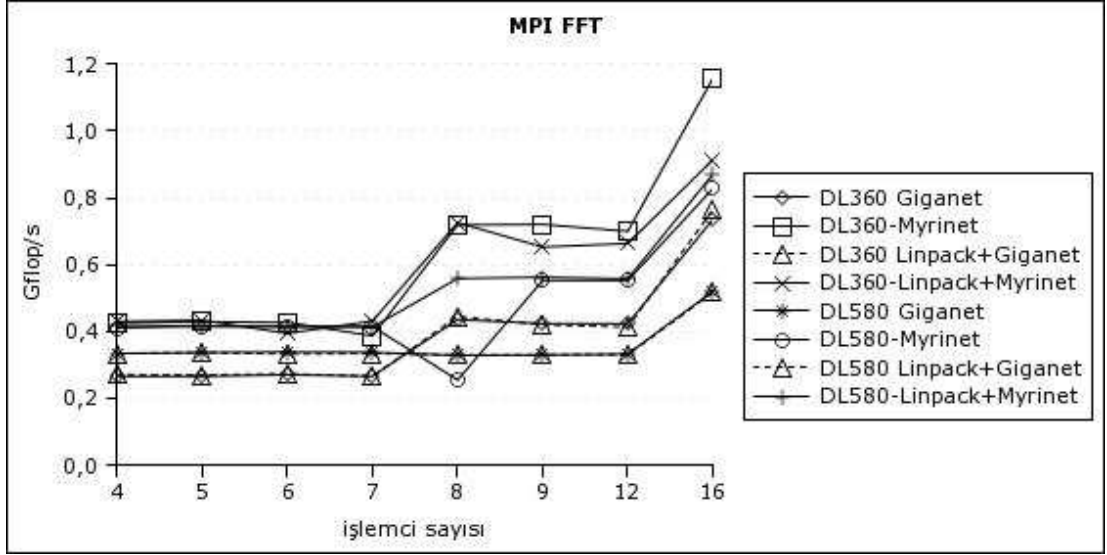
DL580 MPI FFT Access			
İşlemci sayısı	vektör boyutu	Giganet	Myrinet
4	16777216	0.333806	0.410419
5	16777216	0.337080	0.415949
6	16777216	0.338408	0.414316
7	16777216	0.337522	0.414621
8	33554432	0.328764	0.254839
9	33554432	0.329369	0.552694
12	33554432	0.332531	0.552506
16	67108864	0.520602	0.827519

MPI FFT işlemine ait grafikte Şekil 4.10 Gflop/s değerini işlemci sayısı işlemci sayısı ile arttığı gözlenmektedir. Bu değerler Myrinet bağlantısıyla artmaktadır

Tablo-4.14’de Stargate sistemine ait MpiFFT sonuçları verilmiştir. Sistem içi haberleşmesi Giganet Ethetnet ile sağlanmaktadır. Elde edilen sonuçlar HP sistemlerdeki gibi işlemci sayısı artıkcı işlenen veri boyutu artmaktadır. Buna karşın elde edilen sonuç diğer sisteme göre daha düşüktür. Bu değerlerin iç bağlantı hızı ve işlemci hızının düşük olması dışında FSB değerinin az olmasında etkisi görülmektedir.

4.7 GECİKME ve BANTGENİŞLİĞİ Test Sonuçları

Tablo-4.15 ve Tablo-4.16’de DL360 ve DL580 sistemleri için haberleşme gecikme süreleri verilmiştir. İşlemciler arasında haberleşme sırasında oluşturan 3 temel yapı olan ping-pong, düzgün halka ve rastgele halka için haberleşme süreleri milisaniye cinsinde ölçülmektedir. Ping -Pong haberleşmesinde işlemciler karşılıklı haberleşirken ölçülen en büyük ve en küçük haberleşme süresi min ve



Şekil 4.10: MPI-FFT test sonuçları

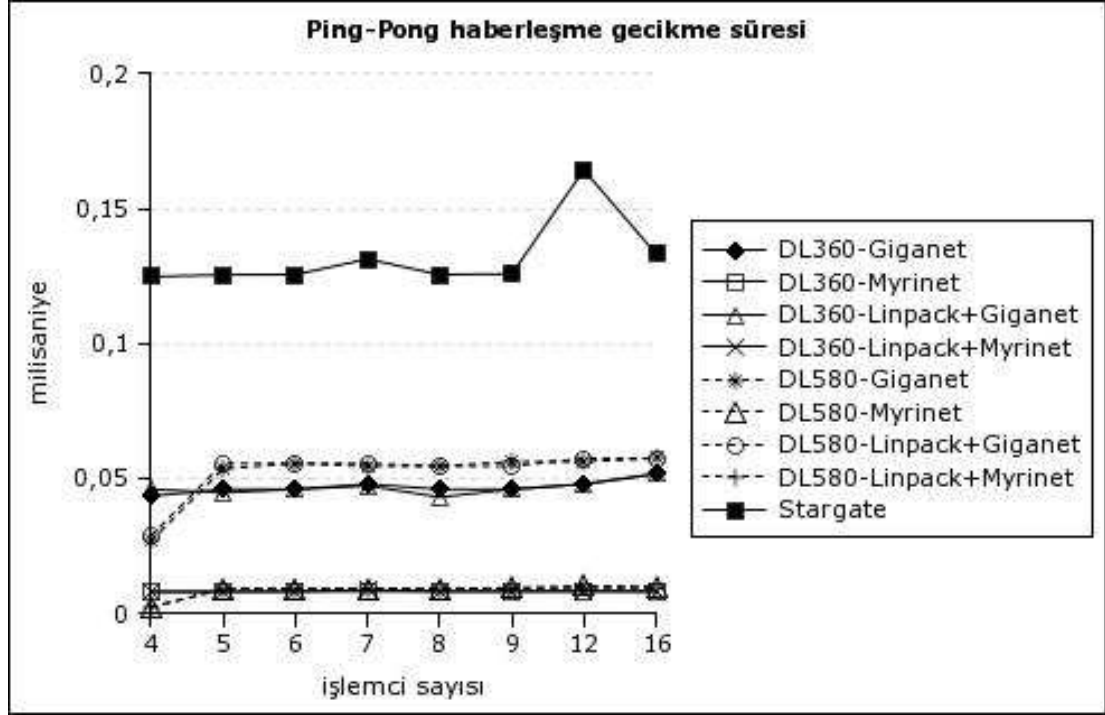
Tablo 4.14: Stargate MPI FFT test sonuçları

Stargate MPI FFT Access		
İşlemci sayısı	vektör boyutu	Gflop/s
4	8388608	0.178937
5	8388608	0.170163
6	8388608	0.199656
7	8388608	0.194335
8	16777216	0.258100
9	16777216	0.241929
12	16777216	0.238958
16	33554432	0.358316

max bölümlerinde verilmiştir. Ortalama haberleşme süresi ise bütün işlemcilerin birbirini ile haberleşmesi sırasında oluşan toplam haberleşme süresinin ortalamasına göstermektedir. Düzgün halka haberleşmesinde işlemciler oluşturulmuş işlemci grubunda her işlemcinin bir numarası olduğu düşünülürse , düzgün halka yapısı ile işlemciler artan işlemci numarasına göre oluşturdıkları halka içinde sadece sağındaki ve solundaki işlemciler ile haberleşmesi sırasında oluşan sürelerin toplamını göstermektedir. Rastgele halka ise işlemcilerden oluşturulan halka artan işlemci numarasına göre değil rastgele şekilde oluşturulmuştur. Düzgün halka yapısında işlemciler aynı düğümde ise yanyana sıralanırken rastgele halka yapısında böyle bir yapı oluşamayabilir. Haberleşme değerlerinin küçük olması sistemin daha hızlı çalıştığını göstermektedir.

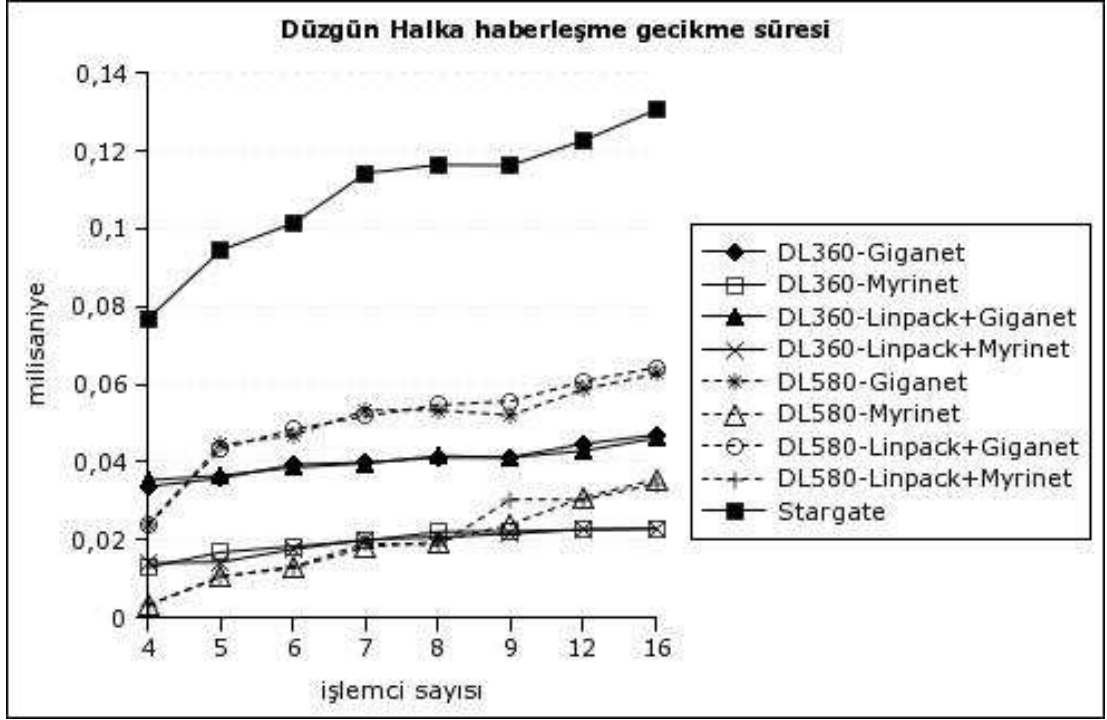
Şekil 4.13’de işlemciler arasında her iki sistem içinde oluşan ping-pong haberleşme süresi farklı test setleri için gösterilmiştir. Haberleşme süresi bek-

lendiği gibi Myrinet bağlantısı ile her iki sistem içinde azalmaktadır. Buna karşın Linpack kütüphanesinin eklenmesi hiçbir fark yaratmamış , Giganet ile Linpack+Giganet ve Myrinet ile Linpack+Myrinet birbiri ile örtüşen sonuçlar göstermiştir. Myrinet bağlantısı ile haberleşme süreleri her iki sistem içinde yaklaşık olarak 5 kat azalmaktadır. Ayrıca Myrinet ile her iki sistemin haberleşme süreleri birbirine oldukça yakın değerlerdedir. Giganet bağlantısında ise DL360 sisteminde ping-pong haberleşme sırasında haberleşme genel olarak DL580 sistemindeki haberleşme süresinin yaklaşık 2 katı hızındadır.

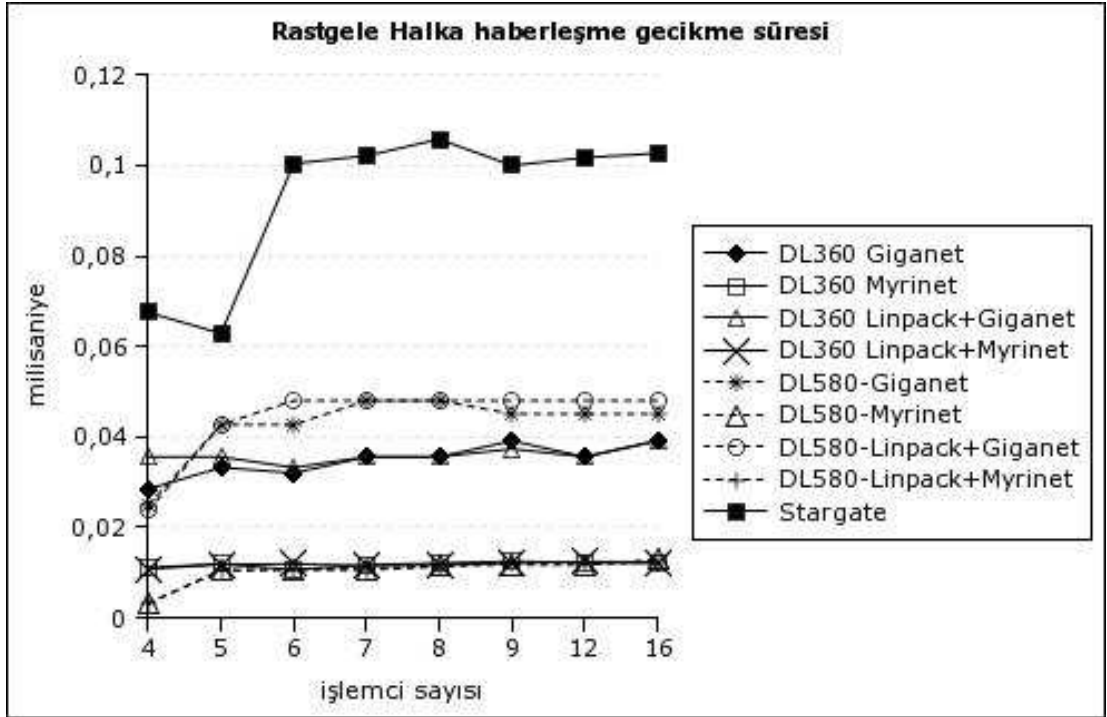


Şekil 4.11: Ping-Pong haberleşme gecikme süreleri

Şekil 4.13'den de gözlenebileceği gibi 4 işlemcili testler DL580 sisteminde haberleşme süresinin DL360 sistemindeki haberleşme süresinin yaklaşık yarı değerindedir. Bu durum DL580 sisteminde aynı düğüm içinde bulunan işlemcilerin birbiri ile daha hızlı haberleşmesinden kaynaklanmaktadır. Bu yapıda haberleşme hızı FSB değerine göre daha yavaşken düğüm dışına çıkılmadığı için birbirleriyle olan haberleşme daha hızlıdır. DL360 sisteminde ise aynı düğümdeki işlemciler birbirleriyle FSB değerine bağlı olarak daha hızlı haberleşirken düğüm dışına çıktıkları için toplam haberleşme süresi daha azalmaktadır. Nitekim işlemci sayısının artırıldığı durumda DL360 sistemindeki FSB hızının daha yüksek olması dolayısıyla haberleşme süresi artmaktadır. Bunun dışında gözlenen bir diğer durum ise işlemci sayısı çift olduğu durumlarda haberleşme süresinde artış gözlemlenmektedir.



Şekil 4.12: Düzgün Halka haberleşme gecikme süreleri



Şekil 4.13: Rastgele Halka haberleşme gecikme süreleri

Bantgenişliği

Tablo-4.17 ve Tablo-4.18'de DL360 ve DL580 sistemleri için haberleşme bantgenişlikleri verilmiştir. İşlemciler arasında haberleşme sırasında oluşturan 3

temel yapı olan ping-pong, düzgün halka ve rastgele halka haberleşmeleri sırasında oluşan bantgenilikleri verilmiştir. Ping-pong haberleşmesi sırasında oluşan bantgenişliği en büyük ve en küçük değerleri ile beraber bütün ölçülen bant genişliklerinin ortalama değerleride verilmiştir. Ayrıca Düzgün Halka ve Rastgele halka haberleşmesi sırasında oluşan bant genişlikleri ortalama olarak verilmiştir.

Megabyte/saniye cinsinde ölçülen bantgenişliklerinde iki sistem içinde önemli özellikler gözlenmektedir. Bantgenişlikleri değerlerinde en iyi bantgenişlikleri aynı sunucu içerisindeki işlemciler arasında gözlenmektedir. en düşük değerler ise birbirinden uzak farklı sunucular üzerindeki işlemciler arasında gözlenmektedir. 4 işlemcili testlerde DL580 sisteminde daha en düşük bantgeniliği DL360 sistemine göre oldukça yüksektir. İşlemciler arasında 2.7 GB/sn bantgenişliğine sahip yol bulunmakatadır. Ping-Pong haberleşmesindeki bantgenişliklerinde işlemci sayısı artırıldığı durumlarda DL360 sisteminde en küçük bantgenişlikleri yaklaşık olarak sabit kahrken, DL580 sisteminde 4'ten büyük sayılı işlemcili testlerde elde edilen bantgenişliği DL360 sisteminde daha düşüktür. Bu durum daha önceki testlerde açıklandığı gibi FSB değerinin DL360 sisteminden daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Rastgele ve Düzgün Halka haberleşmesinde elde edilen bantgenişlikleri Ping-Pong haberleşmesinden elde edilen değerlerden daha düşüktür. Burada verilen değerler herbil işlemcinin elde ettiği bant genişliğinin ortalaması olduğu için en uzak işlemciler arasındaki değer bağlı olarak azalmaktadır.

Tablo-4.19'de Stargate sistemine ait haberleşme gecikmesi ve bantgenişlikleri verilmiştir. Haberleşme süreleri ile bantgenişlikleri birbiriyle ters orantılı olarak değişmektedir. Bu sistemde DL360 sistemi gibi aynı sunucuda 2 işlemci bulunmaktadır. İşlemci sayısı artıkça haberleş süresinde, bantgenişliğinde de azalma gözlenmektedir.

Tablo 4.15: DL360 Haberleşme süreleri test sonuçları

Gigabit					
	Ping-Pong				
İşlemci	Min	Ort	Max	Düzgün Halka	Rastgele Halka
4	0.0165	0.0343	0.0433	0.0284	0.0337
5	0.0178	0.0393	0.0459	0.0332	0.0358
6	0.0178	0.0391	0.0459	0.0320	0.0393
7	0.0178	0.0408	0.0478	0.0355	0.0398
8	0.0191	0.0385	0.0459	0.0355	0.0411
9	0.0191	0.0410	0.0459	0.0391	0.0412
12	0.0191	0.0423	0.0478	0.0355	0.0446
16	0.0430	0.0463	0.0516	0.0391	0.0469
Myrinet					
4	0.0009	0.0055	0.0079	0.0111	0.0128
5	0.000924	0.0064	0.0079	0.0118	0.0167
6	0.000939	0.0065	0.0080	0.0106	0.0183
7	0.000939	0.0069	0.0080	0.0117	0.0197
8	0.000924	0.0068	0.0080	0.0120	0.0220
9	0.000924	0.0071	0.0081	0.0124	0.0222
12	0.000864	0.0072	0.0080	0.0122	0.0225
16	0.000924	0.0074	0.0080	0.0120	0.0229
Linpack+Giganet					
4	0.0165	0.0352	0.0459	0.0355	0.0353
5	0.0178	0.0383	0.0446	0.0355	0.0365
6	0.0178	0.0382	0.0459	0.0332	0.0386
7	0.0191	0.0415	0.04720	0.0355	0.0396
8	0.0153	0.0366	0.0430	0.0355	0.0415
9	0.0191	0.0410	0.0459	0.0373	0.0411
12	0.0204	0.0431	0.0478	0.0355	0.0428
16	0.0430	0.0457	0.0516	0.0391	0.0461
Linpack+Myrinet					
4	0.0009	0.0055	0.0079	0.0108	0.0140
5	0.0009	0.0064	0.0080	0.0118	0.0142
6	0.0009	0.0065	0.0080	0.0118	0.0175
7	0.0009	0.0069	0.0086	0.0115	0.0200
8	0.0009	0.0068	0.0080	0.0116	0.0206
9	0.0009	0.0071	0.0080	0.0120	0.0215
12	0.0009	0.0072	0.0081	0.0124	0.0226
16	0.0009	0.0074	0.0080	0.0123	0.0228

Tablo 4.16: DL580 haberleşme süreleri test sonuçları

Gigabit					
	Ping-Pong				
İşlemci	Min	Ort	Max	Düzgün Halka	Rastgele Halka
4	0.0229	0.0250	0.0267	0.0249	0.0241
5	0.0210	0.0357	0.0535	0.0426	0.0444
6	0.0210	0.0399	0.0554	0.0426	0.0469
7	0.0248	0.0413	0.0544	0.0480	0.0533
8	0.0248	0.0413	0.0544	0.0480	0.0533
9	0.0238	0.0447	0.0561	0.0450	0.0520
12	0.0255	0.0467	0.0561	0.0450	0.0586
16	0.0535	0.0553	0.0573	0.0450	0.0626
Myrinet					
4	0.0018	0.0020	0.0022	0.0031	0.0031
5	0.0016	0.0047	0.0090	0.0105	0.0105
6	0.0016	0.0056	0.0090	0.0106	0.0127
7	0.0016	0.0059	0.0090	0.0107	0.0180
8	0.0016	0.0059	0.0091	0.0116	0.0195
9	0.0016	0.0066	0.0092	0.0117	0.0239
12	0.0016	0.0071	0.0101	0.0117	0.0308
16	0.0016	0.0076	0.0098	0.0128	0.0355
Linpack+Giganet					
4	0.0210	0.0239	0.0286	0.0237	0.0237
5	0.0210	0.0360	0.0554	0.0426	0.0433
6	0.0229	0.0403	0.0554	0.0480	0.0484
7	0.0229	0.0415	0.0554	0.0480	0.0518
8	0.0229	0.0411	0.0544	0.0480	0.0546
9	0.0267	0.0450	0.0544	0.0480	0.0556
12	0.0248	0.0454	0.0573	0.0480	0.0607
16	0.0286	0.0510	0.0573	0.0480	0.0643
Linpack+Myrinet					
4	0.0018	0.0020	0.0022	0.0032	0.0032
5	0.0017	0.0047	0.0090	0.0104	0.0105
6	0.0016	0.0056	0.0090	0.0108	0.0130
7	0.0016	0.0059	0.0090	0.0106	0.0191
8	0.0016	0.0059	0.0090	0.0113	0.0186
9	0.0016	0.0070	0.0093	0.0122	0.0304
12	0.0016	0.0070	0.0093	0.0120	0.0302
16	0.0016	0.0076	0.0093	0.0123	0.0343

Tablo 4.17: DL360 bantgenişliği test sonuçları

Gigabit					
	Ping-Pong				
İşlemci	Min	Ort	Max	Düzgün Halka	Rastgele Halka
4	96.00	159.93	307.20	48.76	40.30
5	96.00	132.50	279.27	40.15	32.35
6	96.00	132.65	279.27	46.54	30.95
7	93.09	124.06	307.20	41.79	27.97
8	93.09	122.65	279.27	45.51	27.56
9	93.09	116.94	279.27	40.15	25.87
12	90.35	112.61	279.27	41.79	25.36
16	85.33	96.55	102.40	40.15	25.09
Myrinet					
4	244.44	344.17	617.37	250.61	183.23
5	244.63	305.39	622.07	179.00	118.54
6	244.51	301.89	628.24	222.50	127.07
7	234.77	278.67	616.15	159.66	105.83
8	244.50	284.64	624.89	204.47	99.02
9	244.37	275.78	621.30	161.95	93.82
12	237.37	268.34	622.85	158.75	90.48
16	188.35	260.43	629.70	153.10	84.76
Linpack+Giganet					
4	96.00	155.92	279.27	48.76	41.69
5	96.00	131.87	307.20	42.66	34.80
6	96.00	132.15	279.27	44.52	32.17
7	93.09	120.64	279.27	44.52	27.77
8	85.33	122.12	307.20	44.52	27.56
9	93.09	116.25	279.27	40.15	26.85
12	94.52	110.59	267.13	40.96	25.38
16	93.09	98.67	102.40	38.64	24.45
Linpack+Myrinet					
4	244.76	345.51	627.16	244.58	208.65
5	244.53	305.50	624.01	189.53	130.03
6	244.48	297.05	548.00	205.42	115.43
7	228.70	284.19	624.22	143.36	100.76
8	244.47	284.65	626.06	162.25	101.35
9	244.45	270.06	624.12	153.63	93.26
12	168.56	264.66	624.89	160.10	90.03
16	244.17	261.34	548.25	146.48	86.91

Tablo 4.18: DL580 bantgenişliği test sonuçları

Gigabit					
	Ping-Pong				
İşlemci	Min	Ort	Max	Düzgün Halka	Rastgele Halka
4	204.80	217.36	236.30	81.92	85.37
5	85.33	164.90	219.42	46.54	46.55
6	85.33	148.57	236.30	47.62	36.94
7	85.33	144.80	256.00	47.62	32.46
8	85.33	144.80	256.00	47.62	32.46
9	83.02	130.01	227.55	40.96	26.79
12	84.16	123.48	227.55	45.51	20.79
16	85.33	105.33	227.55	46.54	19.02
Myrinet					
4	697.59	746.33	772.50	222.33	221.59
5	244.79	523.90	766.43	214.32	199.39
6	244.55	458.65	768.04	241.76	172.94
7	244.76	431.69	769.10	232.44	131.36
8	243.73	425.80	766.43	58.31	65.80
9	244.26	385.61	769.80	181.36	93.40
12	240.15	355.35	767.45	220.02	72.37
16	243.60	325.64	769.52	175.47	46.84
Linpack+Giganet					
4	186.18	219.84	236.30	81.92	86.0627
5	87.77	165.05	236.30	46.54	46.9778
6	87.77	146.87	236.30	46.54	37.6093
7	85.33	143.11	236.30	46.54	31.4721
8	85.33	142.89	236.30	49.95	32.7583
9	83.02	131.71	256.00	41.79	30.4049
12	85.33	124.59	256.00	45.51	21.4987
16	85.33	105.63	236.30	46.54	22.6372
Linpack+Myrinet					
4	696.96	745.69	769.95	222.34	221.58
5	244.78	523.69	768.18	222.11	192.24
6	244.72	457.60	769.24	197.11	186.65
7	244.78	431.99	771.01	240.02	135.78
8	244.67	425.48	769.10	231.95	127.37
9	244.02	355.81	769.84	157.92	78.14
12	243.97	355.60	769.95	188.08	70.22
16	243.97	324.50	765.97	177.00	55.14

Tablo 4.19: Stargate gecikme ve bantgenişliği test sonuçları

Gecikme					
	Ping-Pong				
İşlemci	Min	Ort	Max	Düzgün Halka	Rastgele Halka
4	0.006	0.08	0.12	0.06	0.07
5	0.006	0.10	0.12	0.06	0.09
6	0.006	0.10	0.12	0.10	0.10
7	0.006	0.10	0.13	0.10	0.11
8	0.006	0.10	0.12	0.10	0.11
9	0.006	0.11	0.12	0.10	0.11
12	0.006	0.11	0.16	0.10	0.12
16	0.007	0.11	0.13	0.10	0.13

Bantgenişliği					
	Ping-Pong				
İşlemci	Max	Ort	Min	Düzgün Halka	Rastgele Halka
4	459.32	194.09	65.52	45.33	29.88
5	456.51	142.17	39.25	37.90	37.90
6	456.41	143.33	36.67	35.81	21.90
7	462.26	121.56	36.89	33.82	20.50
8	433.58	116.81	34.82	29.06	20.26
9	465.20	108.66	19.60	30.35	20.59
12	454.29	110.47	37.07	30.33	19.46
16	75.35	64.41	35.12	27.01	18.43

BÖLÜM 5

Sonuçlar

Bu çalışmada İTU-Grid sistemine ait 3 alt sistem incelenerek, genel olarak bir Yüksek Başarımli Sistem nasıl incelenir, hangi özellikler sistem performansı için önemlidir ve sistem genişletilirken nelere dikkat edilmelidir soruları hakkında bilgi edilmek amaçlanmıştır. Ayrıca İTU-Grid sisteminde performans değerlendirilmesi yapılarak sistemin mevcut durumdaki performans ölçümü yapılmıştır. Çalışmanın içeriğinde incelenen 3 farklı sistem benzer ve farklı yönleri gözönünde bulundurularak bir kıyaslama yapılmaya çalışılmış ve sistemin genişletilmesi durumunda nasıl bir izleneceği konusunda fikir edinilmeye çalışılmıştır.

Yüksek Başarımli Hesaplama sistemleri değerlendirilirken, sistemlere ait 3 özelliğin sistemin performansını belirleyen temel özellikler olduğu yapılan önceki çalışmalarda gösterilmiştir. Bunlar işlemci hızı, iç bağlantı hızı ve belleğe ulaşım hızı. Yapılan testler sonucunda sistemler üzerinde işlemci hızının tek başına belirleyici olmadığı, sistem üzerinde bulunan FSB değerinin de hem işlemci hızını kısıtladığı hem de sistemin performansını çok etkilediği gözlenmiştir.

Sistemi tam performansı ile kullanabilmek için sistem üzerinde kullanılan derleyici ve kütüphanelerin büyük önemi vardır. Sistemlerin üreticiler tarafından geliştirilen ve sistemin kendine ait özelliklerini verimli halde kullanılmasını sağlayan bu araçlar performansı oldukça etkilemektedir. Özellikler HP Proliant sunucular üzerinde yapılan testlerde Intel Blas kütüphanesinin kullanılmasıyla beraber performansı değeri yüzde 80'lere ulaşmıştır. Buna karşın sistemde bulunan standart PGI derleyicisinde ise performans değeri yüzde 9'u geçmemiştir.

Sistem içerisinde bulunan farklı ağ bağlantıları sistem performansı üzerine etkisini gözlemlemek için farklı testlerde kullanılmıştır. Bu bağlamda kullanılan Giganet ve Myrinet bağlantıları ile yapılan sonuçlar karşılaştırıldığında Myrinet bağlantısında haberleşme süresi ve bantgenişliği önemli ölçüde iyileşmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Rahul Ravindrudu, Yüksek Lisans Tezi, "Benchmarking: More aspects of High Performance Computing"
- [2] http://www.scl.ameslab.gov/Projects/parallel_computing/para_types.html
- [3] Damian Trybus, Yüksek Lisans Tezi, "High Performance Workstation Based On Intel Architecture"
- [4] Damian Trybus, "Design and Analyses of a Cluster Computer"
- [5] Parallel Computing: From SCSI Network to Internet
- [6] Martin Algire, "Distributed multi-processing for high performance computing"
- [7] <http://www.netlib.org/benchmark/1000d>
- [8] <http://www.cs.rice.edu/dsystem/dhpf/dhpf-overview-96/examples/generated-code/final/liv18.html>
- [9] <http://www.cse.clrc.ac.uk/disco/Benchmarks/whetstone.shtml>
- [10] <http://www.netlib.org/benchmark/dhry-c>
- [11] Piotr Luszczek, Jack J. Dongarra, David Koester, Rolf Rabenseifner, Bob Lucas, Jeremy Kepner, John McCalpin, David Bailey and Daisuke Takahashi, "Introduction to the HPC Challenge Benchmark Suite," manuscript, Apr 2005; LBNL-57493. PDF
- [12] <http://www.top500.org/>
- [13] HPL Linpack Benchmark: <http://www.netlib.org/benchmark/hpl/>
- [14] J. J. Dongarra, P. Luszczek, A. Petitet, "The LINPACK benchmark: Past, present, and future" *Concurrency and Computation: Practice and Experience* 15 (2003) i 18.
- [15] <http://icl.cs.utk.edu/hpcc/>
- [16] R.C. Agarwal, F.G. Gustavson, M. Zubair, A High Performance Parallel Algorithm for 1-D FFT, *Proc. Supercomputing '94*, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, 1994, 34–40.

- [17] 7] Daisuke Takahashi, Yasumasa Kanada: "High-Performance Radix-2, 3 and 5 Parallel 1-D Complex FFT Algorithms for Distributed-Memory Parallel Computers". The Journal of Supercomputing15 (2): 207-228 (2000)
- [18] <http://www.cs.virginia.edu/stream/>
- [19] <http://icl.cs.utk.edu/projectsfiles/hpcc/RandomAccess/>
- [20] Technologies for HP ProLiant 300-series G4 servers technology brief
- [21] Technologies for the ProLiant ML570 G3 and ProLiant DL580 G3 servers
- [22] Sun Fireä V210 and Sun Fireä V240 Server Architecture
- [23] <http://h10010.www1.hp.com/wwpc/pscmisc/vac/us/en/ss/proliant/dl360g4-qanda.ht.ml>