

WDM ağlarda gecikme ve hizmet süresi gözetilen kullanılabilirliği garantili bağlantı kurulumu

Çiçek ÇAVDAR^{*1}, Feza BUZLUCA¹, Biswanath MUKHERJEE²

¹İTÜ Bilişim Enstitüsü, Bilgisayar Bilimleri Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

²California Üniversitesi, Bilgisayar Bilimleri Bölümü, Davis, California, ABD

Özet

Optik dalga boyu bölmeli çoğullama (Wavelength Division Multiplexing- WDM) ağlarında, yeni teknolojilerdeki ilerleme, yüksek bant genişliği isteyen uygulamalara yüksek kapasite sağlamak üzere kiralanabilir devrelerin dinamik ve kısa vadeli olarak kurulup serbest bırakılmasına olanak sağlamaktadır. Yüksek hızlı optik bağlantının kesilmesi, büyük veri kaybına neden olduğundan, bu bağlantıların arızalara karşı korunması gerekmektedir. Diğer yandan, veri, ses ve video gibi verilerin farklı trafik tiplerinin hızla artması, kullanılabilirliği garantili bant genişliğinin yanı sıra farklılaştırılmış hizmetler gerektirmektedir. Bu nedenle, ilerideki ağ taşıyıcılarının, HDA (Hizmet Düzeyi Anlaşması) (Service Level Agreement- SLA) ilkelerini karşılması ve böylece belli bir hizmet düzeyi garantilemesi ve verimli kaynak kullanımı sağlaması gerekmektedir. Bu amaçla bu çalışmada farklı sürdürülebilir yol kurulum teknikleri bağlantı isteklerinin düzeyine göre tercih edilmektedir. Hizmet kalitesine bağlı olarak korunmasız, yol paylaşımı korumalı ve yol atamalı korumalı bağlantı kurulumunun tercihli kullanımı sonucunda, isteklerin farklılaşmış kullanılabilirlik gereklilikleri karşılanmaktadır. Bu çalışmada yedek kapasite kullanım oranının ve bloke olma olasılığının düşürülmesi amacıyla farklı iki teknik tanıtılmıştır. Birinci teknik, yeni gelen isteğin bağlantısını kurmadan önce sistemde önceden kurulmuş bağlantıların hizmet sürelerinden yararlanarak paylaşımı artırma esasına dayanmaktadır. İkinci yöntem ise bloke olma olasılığını düşürmek amacıyla kullanıcı tarafından belirlenen zaman toleransı parametresinden yararlanmaktadır. Bu iki yöntem önceki benzer amaca yönelik algoritmalarla karşılaştırılmaktadır. Sonuç olarak önerilen algoritmaların kaynak kullanımını azalttığı, bloke olma oranını ise yeni kaynak eklenmesine gerek duyulmaksızın düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Optik ağlar, dalga boyu bölmeli çoğullama, kullanılabilirlik, yol atama.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Çiçek ÇAVDAR. cavdare@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 36 82.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Bilişim Enstitüsü, Bilgisayar Bilimleri Programı'nda tamamlanmakta olan "Dynamic scheduling of survivable connections in optical WDM networks" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 07.09.2009 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 11.11.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.01.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Holding time and delay tolerance aware, availability-guaranteed connection provisioning in WDM networks

Extended abstract

With the development of agile optical switches, dynamic optical circuit switching has become possible and connections are set up and torn down on-demand basis. The explosive growth of different traffic types such as data, voice and video requires the support of differentiated services in terms of survivability measures and timing requirements. In order to guarantee a specific level of survivability, availability-guaranteed bandwidth provisioning is considered. On the other hand, connections are set up and released for specific time durations, with sliding or fixed set-up times. Connection requests arrive to the network provider with specified holding times, delay tolerances and availability requirements which need to be satisfied. Delay tolerance is defined as the maximum time which a request can tolerate before the connection is set up.

Future network carriers need to meet strict SLA (Service Level Agreement) guidelines, thus guaranteeing a level of service, as well as achieving efficient resource utilization.

Connection availability is an important metric to measure the quality of service (QoS) in a survivable network. It is defined as the probability that a connection will be found in the operating state at a random time in the future (Clouqueur et al., 2002). It is affected by many factors such as network component failure probabilities, failure repair times, etc. Usually, the availability target for a connection is specified in a Service Level Agreement (SLA), which is a contract between a service provider (e.g., a network operator) and one of its customers (e.g., a large institutional user of bandwidth). An SLA violation may result in a penalty to be paid by the network operator to the customer according to the contract (Grover, 1999).

In order to provide the appropriate level of availability stated in the SLAs, different recovery mechanisms can be used to provision different connection requests. In this study, we consider unprotected, shared-path protected and dedicated-path protected

provisioning mechanisms at the same time to satisfy different QoS requirements in a dynamic manner.

Previous studies, while maximizing sharability by routing backup paths in a dynamic traffic environment, do not make any estimation on future sharability of resources. They take the current link states into consideration to choose sharable links. Reference (Tornatore et al., 2005a,b) shows that resource overbuild (RO) in shared-path protection can be decreased by exploiting the holding-time information of connections which have already been provisioned in the network. Since holding times of incoming traffic demands may be known in advance for a variety of applications, this information about the future states of the links makes the route decision more intelligent by allowing the choice of more sharable paths.

In this paper, unprotected, shared-path, and dedicated-path protection techniques are used to meet the differentiated availability requirements. Recently, among the other Service Level Specifications (SLSs), many new applications are identified by known-in-advance holding-time and delay tolerance. So, in this paper, for dynamic provisioning of availability-guaranteed connections in an optical mesh network, we propose two new algorithms which exploit 1-the knowledge of connection holding times to accomplish minimum backup capacity allocation as compared to the previous holding-time-unaware approach and 2- the knowledge of delay tolerances to decrease the blocking probability in the conditions that the system resources are not available to satisfy the SLS demands of connection requests. Here we also propose a new routing mechanism for backup paths optimizing backup resources considering the future departure time of existing connections.

In order to show the performance gain; the first proposal, AGSDP_HT (Holding-time aware Availability-Guaranteed Service-Differentiated Provisioning) is compared by a base line algorithm AGSDP. The second proposal ADT (Availability-guaranteed, service differentiated provisioning with Delay Tolerance) is compared by a base line approach which does not consider delay tolerance. For the second proposal, both algorithms dedicated protection is not used as a choice, since blocking is decreased by delay tolerance.

Keywords: WDM Networks, availability aware provisioning, survivability.

Giriş

Günümüzde, dinamik optik anahtarlama tekniklerinin gelişimiyle birlikte, optik dalga boyu bölmeli çoğullama (WDM) ağları, önceden belli olan hizmet sürelerine dayanarak, kısa sürelerde kurulup serbest bırakılan yüksek kapasiteli ve dinamik devreler sağlamaktadırlar. Yüksek hızdaki optik bağlantının kesilmesi büyük miktarda verinin kaybına neden olacağından, sürdürülebilirlik, bir başka deyişle ağıın arızalardan etkilenen trafiği kurtarabilmesi özelliği, WDM ağlarının tasarımında önemli bir rol oynamaktadır.

Diğer yandan İnternet Protokolü (IP) üzerinden akan veri, ses ve video gibi farklı tipte trafik miktarı hızla artmakta, bu durum farklılaştırılmış hizmetleri ve kullanılabilirliği garantilenmiş bant genişliği gerektirmektedir. Bu tür bağlantılar, İnternet Hizmet Sağlayıcılarına (*Internet Service Provider- ISP*), WDM üzerinden IP ağ mimarisi içinde optik örgüsel taşıyıcı ağlarla sağlanmaktadır. Farklılaştırılmış hizmetler, ağ teknolojilerinde çoklu protokol etiket anahtarlama (MPLS-Multi Protocol Label Switching) gibi gelişmeler sayesinde, IP seviyesinde etiket anahtarlı yollar (LSP) (Lawrence, 2001) üzerinde paketler devre tabanlı olarak yönlendirilmek suretiyle sağlanabilir.

Bağlantının kullanılabilirliği, sürdürülebilir bir ağda hizmet kalitesini ölçmek için önemli bir ölçüttür. Gelecekte rastgele bir zamanda bağlantının işletilir durumda olma olasılığı olarak tanımlanır (Clouqueur vd., 2002). Bu durum, ağ bileşenlerinin arıza olasılığı, arıza onarım süresi, vs. gibi çok sayıda etkene bağlıdır. Genellikle, bir bağlantının kullanılabilirlik hedefi, hizmet sağlayıcı (örn. ağ operatörü) ile bir müşterisi (örn. Bant genişliğinin büyük kurumsal bir kullanıcısı) arasında bir anlaşma olan Hizmet Düzeyi Anlaşması (HDA) (SLA-Service Level Agreement) ile belirlenir.

HDA'nın ihlal edilmesi, sözleşmeye göre ağ operatörü tarafından müşteriye bir ceza ödenmesine neden olabilir (Grover, 1999). Diğer yandan, sağlanan hizmet HDA'da belirtilen gerekli minimum kullanılabilirlik düzeyini karşılamalı, böylece gereksiz kaynak kullanımı engellenmeli ve ağ maliyeti azaltılmalıdır (Song vd., 2007).

HDA'larda belirtilen uygun kullanılabilirlik düzeyini sağlamak için, farklı bağlantı taleplerini sağlamak amacıyla farklı kurtarma mekanizmaları kullanılabilir. Bu çalışmada, korumasız, korunan yol paylaşım ve korunan yol atamalı bağlantı kurulum mekanizmaları aynı anda değerlendirilmektedir.

Mevcut taşıma ağlarında, bağlantı yönlendirme genellikle toplam bağlantı maliyetini en aza indiren düğüm çakışmasız en kısa yol algoritması uygulanarak yapılır. Genel olarak ağırlıklar bağlantılara fiber mesafe, sekme sayısı, bağlantının kullanılabilirliği, vs. gibi eniyilenmesine çalışılan ölçülere göre atanır. Bu şekilde her kaynak düğümü bu bağlantı ağırlıklarını dikkate alarak, kendisine ait en kısa yolu hesaplayabilir.

Daha önce yapılan çalışmalarda (Ou vd., 2004; Li vd., 2002), yol paylaşım korumada yedek kaynak yatırımını eniyilemek için bağlantı maliyeti atama yaklaşımları geliştirilmiştir. Buradaki ana fikir, yeni kaynakları kullanmak yerine diğer çalışan bağlantılar tarafından halihazırda kullanılmakta olan yedek kaynakları paylaşma esasına dayanmaktadır. Yeni bir bağlantı kurulum sırasında, yedek yol kurulum amacıyla en kısa yol algoritması çalıştırılmadan önce bağlantı ağırlıkları atanır. Yedek yol bağlantı adaylarına ağırlık atamaları yapılırken kaynak paylaşım ve bağlantılara atanan ağırlıklardan önemli oranda küçük olacak şekilde ağırlıklar atanır. Bu atama stratejisi ile yedek yol kurulumunda, yeni kaynak kullanımı yerine var olan kaynakların yedek bağlantılar arasında paylaşımı teşvik edilmiş olur. Ancak, önerilen bu strateji sistemdeki kurulu bağlantıların hizmet süreleri bilgisinden yararlanmamakta, sistemden ne zaman ayrılacaklarını, dolayısıyla kaynakların ne kadar süreliğine paylaşılabilir olduğunu göz ardı etmektedir. O anda paylaşılabilir kaynağı olan bağlantının durumunun, yeni bağlantı süresinde paylaşılabilir kalması garanti edilememektedir.

Kantarci ve diğerleri (2008) tarafından yapılan bir çalışmada ise kanalların paylaşılabilirlik dereceleri sistemin yedek kaynak kullanım oranı ve kullanılabilirlik derecesi izlenerek ayarlanmaktadır. Paylaşılabilirlik derecesinin sistemin

performans durumuna göre adaptif olarak artırılıp azaltılması sayesinde, bağlantıların kullanılabilirliği ve yedek kaynak kullanım oranını arasında bir denge kurulmaktadır.

Hizmet süresi bilgisinden yararlanılmadığında, önceki çalışmalar, yedekleme yollarını dinamik bir trafik ortamında yönlendirmek suretiyle paylaşılabirliği en büyüklerken, kaynakların gelecekteki paylaşımı konusunda bir tahminde bulunamamaktadır. Bu çalışmalar, paylaşılabilir bağlantıları seçmek için sadece o andaki bağlantı durumlarını göz önüne almakta, gelecek süreç içindeki durumları göz ardı etmektedir. Bu eksiklik, yol paylaşımını koruma için Tornatore ve diğerleri (2005a, b) tarafından geliştirilen metotla birlikte giderilmiştir. Önerilen yöntem, yedek kaynak kullanım oranının, ağdaki kurulu bağlantıların hizmet sürelerini göz önüne alarak azaltılabileceğini göstermektedir. Gelen trafik taleplerinin hizmet süreleri, çeşitli uygulamalar için önceden bilinebildiğinden, bağlantıların gelecekteki durumuna ilişkin bu bilgi, daha paylaşılabilir yolların seçilmesini sağlamaktadır.

Ancak önerilen bu yaklaşım, gelen bağlantıların, farklı kullanılabilirlik gereksinimleri sebebiyle hizmet farklılaşması barındırabileceğini göz önünde bulundurmamaktadır. Hizmet farklılaşmasını destekleyen bağlantı kurulum teknikleri geçmişte statik trafik koşullarında Zhang ve diğerleri (2003) tarafından, dinamik trafik koşullarında ise Song ve diğerleri (2007) tarafından önerilmiştir. Kullanılabilirlik-garantili, hizmet-ayrıştırmalı bu bağlantı kurulum tekniklerinde birincil amaç, gerekli kullanılabilirlik düzeyini sağlayacak şekilde bağlantıları yönlendirmektir. İkinci amaç ise kaynak kullanımını en aza indirmektir. Zhang ve diğerleri (2007)'nin çalışmasında, bir bağlantının maliyeti, onun kullanılabilirliğinin bir işlevi olarak tanımlandığında, bu bağlantıların üzerinde en kısa yolun bulunmasının, en güvenilir yolun (MRP) bulunmasına eşdeğer olduğu gösterilmektedir. Mello ve diğerleri (2005a, b) ise, dinamik bir ortamda garantili kullanılabilirlik gereksinimlerini sağlayan paylaşım yedekleme yollarını incelemekte ve kullanılabilirlik analizi için matris tabanlı analiz kullanmaktadırlar.

Bir yolun veya yol çiftinin bağlantı talebi için kullanılabilirliğini, kaynakları kullanmadan önce tahmin eden önceki çalışmalarda (Tornatore vd., 2005a, b; Mello vd., 2005a, b; Zhang vd., 2003; Song vd., 2007), farklı kullanılabilirlik analizi yön-temleri önermektedir. Bu yöntemler arasında Song ve diğerleri (2007)'nin önerdiği yöntemden burada karşılaştırma amacıyla yararlanılmıştır.

Çalışmamızda tanıttığımız birinci yöntem, hizmet süresi gözetimli, kullanılabilirlik-garantili, hizmet-ayrıştırmalı bağlantı kurulumu tekniği (HT-AGSDP -Holding Time Aware Availability-Guaranteed Service-Differentiated Provisioning) olarak adlandırılmaktadır. Burada bağlantıların kurulumunda, dinamik trafik ortamında bağlantı hizmet süreleri bilgisinden yararlanılmaktadır. Hizmet süresi gözetimi sayesinde yol seçimi anlık olarak değil, gelecekteki sistem kaynak kullanılabilirliği ve paylaşımını göz önüne alarak yapılmaktadır. Önerilen teknik, benzer eniyileme hedeflerine sahip ancak gelecekteki bağlantı paylaşılabilirliği hakkında herhangi bir tahminde bulunmayan bir başka teknikle (Song vd., 2007) (AGSDP) karşılaştırılmaktadır. Yol paylaşım yedek bağlantı kurulumunda bağlantıların hizmet sürelerini göz önüne alan (Tornatore vd., 2005a, b) teknikten farklı olarak HT-AGSDP, hizmet-ayrıştırmalı ve kullanılabilirlik garantili bir çözüm sunmaktadır. HT-AGSDP'de AGSDP'ye göre yedek kaynak kullanım oranı (RO-Resource Overbuild) üzerinde önemli bir düşüş sağlanmıştır.

Burada tanıtacağımız bir diğer yöntem ise, kullanılabilirlik-garantili, gecikme toleranslı yol korumadır (ADT-Availability-guaranteed, service differentiated provisioning with Delay Tolerance). Önerilen bu teknik, dinamik bir trafik ortamında dayanıklı bağlantıların kurulumu için gecikme toleransının getirdiği esneklikten yararlanarak, kullanıcı isteklerini reddetmek yerine belirli bir süre bekletmekte ve bu süre içerisinde kaynak eniyilemesi yaparak bloke olma olasılığını düşürmektedir. Bu yöntemde bir başka amaç kaynakların verimli kullanılması hedefiyle uyuşmayan atanmış yol kurulumu yerine sadece paylaşım yedek bağlantı kurulumundan yararlanmaktır.

Tanıtılan bu yöntemler başlangıç aşamasında sırasıyla Çavdar ve diğerleri (2007, 2009) tarafından sunulmuştur. Bu çalışmada ise bu iki yöntem genişletilerek birlikte ele alınmakta, daha kapsamlı benzetim çalışmalarının sonuçlarına yer verilmektedir.

Bu makalenin geri kalan kısmı aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir: İkinci bölümde sistem kaynaklarının gelecekte serbest kalma bilgisini kullanılabilirlik hesabına katarak kullanılabilirlik dinamiklerini analiz edilmektedir. Üçüncü bölümde, problemin tanımı yapılmakta, karşılaştırma amacıyla kullanılacak temel yaklaşım, AGSDP (Song vd., 2007) incelenmektedir. Dördüncü bölümde önerilen HT-AGSDP tekniği sunulmaktadır. Beşinci bölümde ise gecikme toleransından yararlanan ve yararlanmayan iki teknik, sırasıyla AGP ve ADT açıklanmaktadır. Altıncı bölümde önerilen iki teknik o alandaki tanıtılan diğer temel tekniklerle karşılaştırılarak, bloke olma olasılığı ve yedek kaynak kullanım oranına göre performans değerlendirmesi yapılmaktadır.

Kullanılabilirliği gözetim yönlendirme

Bir bağlantı talebi için kaynakları sağlamadan önce, ilgili yol veya yol çiftinin uygunluğunun tahmin edilmesi ve bunun istenen kullanılabilirlikten daha yüksek olması gereklidir. Yol paylaşımını koruması olan bağlantının kullanılabilirliği, yeni bağlantıların kurulumu ve var olanların sistemden ayrılması nedeniyle bağlantı süresince değişebilir. Aslında, yedek bir kanalı paylaşan bağlantı sayısı değişebilir ve bu durum söz konusu bağlantının kullanılabilirlik değerini etkiler. Ancak, korunmamış veya yol atamalı bağlantıların kullanılabilirliği, bağlantı giriş ve çıkışından etkilenmez. Bu nedenle makalede yol paylaşımını korumada bağlantı kullanılabilirliğinin hesaplanması üzerinde durulacaktır.

Dinamik kullanılabilirlik hesabı

Yol paylaşımını korumada, yedekleme kaynakları birden fazla asal bağlantı arasında paylaşılabilir. Bir e kanalı üzerinde, yedek dalga boyları bir grup asal yolu korumak için ayrılabilir. Aynı yedek havuzunu kullanan bağlantı grubuna yedek paylaşan bağlantı grubu (BSCG) adı verilir. BSCG'deki bağlantıların asal yolları, aynı ka-

nallar üzerinden geçemez. Bağlantı tabanında $B(e)$ sayıda ayrılmış yedek dalga boyu, kanal e üzerinde $N(e)$ sayıda asal bağlantı arasında paylaşılır. $N(e)$, e kanalı tarafından korunan bağlantı serisinin, e kanalının BSCG'sinin (BSCG(e)) büyüklüğüdür. Bu nedenle, e kanalı üzerinde t bağlantısının yedek havuzdan yedek dalga boylarından birini uzun vadede alma olasılığı, t bağlantısı ve BSCG(e)'deki diğer bağlantılar arızalandığında ve e kanalı üzerindeki $B(e)$ sayıdaki dalga boyları için rekabet ettiğinde, $B(e)/N(e)$ 'dir. Bu rekabet sonucunda, yedek yol b üzerindeki bütün kanalları elde etme olasılığı:

$$\prod_{e \in b} \frac{B(e)}{N(e)}, \quad B(e) \leq N(e)$$
 olarak hesaplanmaktadır. Buna göre, yol paylaşımını korunan t bağlantısının kullanılabilirliği aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$A_t = A_p + (1 - A_p) A_b \prod_{e \in b} \frac{B(e)}{N(e)} \quad (1)$$

Denklem 1'deki yedek kanalların paylaşılabilirlik derecesi, diğer gelen veya giden bağlantılardan ileride etkilenebilir. Buradaki kullanılabilirlik tahmini, ağın sadece mevcut görünümü göz önünde bulundurulduğundan kötümser bir kullanılabilirlik değeri verir. Aşağıda, önceki yöntemi temel bir adım olarak kullanarak, sistem üzerinde gelecekteki giriş ve çıkışları hesaba katan ve daha doğru kullanılabilirlik hesabı sağlayan "hizmet süresini göz önünde bulundurmak" için bir kullanılabilirlik değerlendirme yaklaşımı öneriyoruz. Aşağıdaki analize göre, gelecekte bir bağlantı, t bağlantısının yedek e kanalının $B(e)$ yedekleme havuzu ile kaynak paylaşmaya çalıştığında, kullanılabilirlik A_t , aşağıda açıklandığı üzere iki farklı şekilde sınıflandırılabilir.

$b_s \in b$, e kanalı üzerinde, yedek dalga boyu havuzunda herhangi bir fazladan yedek dalga boyu eklemeye gerek kalmadan, bağlantıya atanan paylaşımını yedek bağlantıları gösterir. Bağlantı, yedek dalga boyu havuzundaki mevcut dalga boylarını, o bağlantıdaki havuza başka bir dalga boyu (w) eklenmesine gerek kalmadan paylaşır.

Bu durum, bağlantının asal yolu, diğer paylaşılan bağlantıların asal yollarıyla ortak kullanılan bir kanalı olmadığında veya aynı e kanalından geçen ortak bağlantılı asal bağlantı sayısı (farklı dalga boylarını kullanarak) $B(e)$ yedek havuzundaki dalga boyu sayısını aşmadığında meydana gelir.

$b_u \in b$, yedek dalga boyu havuzunda dalga boyu sayısını arttırarak bağlantıya atanan paylaşımlı yedek bağlantı serisini gösterir. Yeni bağlantılar, havuzdaki dalga boyu sayısını arttırmadan, e yedek kanalındaki yedek havuzunu paylaşamaz, Çünkü bu bağlantıya ortak bağlı olan $B(e)$ sayıdaki asal yollarla bu havuzu paylaşmaktadır. Bu paylaşım nedeniyle kullanılabilirlik düzeyi, istenen kullanılabilirlik düzeyinin altında kaldığından yeni bir dalga boyu ekleyerek kanalın kullanılabilirliği artırılmaya çalışılmaktadır.

Bu tanımlardan yola çıkarak, t bağlantısının zamanla değişen kullanılabilirliğini gösteren A_t' , aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$A_t' = A_p + (1 - A_p)A_b \prod_{e \in b_s} \frac{B(e)}{N(e) + 1} \prod_{e \in b_u} \frac{B(e) + 1}{N(e) + 1} \quad (2)$$

Her iki durumda, A_t gelen her yeni bağlantıyla azalır. Benzer şekilde, giden bağlantı A_t' 'yi aşağıdaki şekilde değiştirir:

$$A_t' = A_p + (1 - A_p)A_b \prod_{e \in b_s} \frac{B(e)}{N(e) - 1} \prod_{e \in b_u} \frac{B(e) - 1}{N(e) - 1} \quad (3)$$

Problem tanımı ve temel çözüm

Problem tanımı

Verili bir fiziksel topolojide bağlantı kullanılabilirlik gereksinmelerini karşılayan, düşük maliyetli bağlantı kurulum problemi aşağıdaki şekilde formüle edilebilir:

Verilen: a) Bir ağın, bir dizi kenar ve düğümlerden oluşan fiziksel topolojisi; b) her e kanalı için kullanılabilirlik fonksiyonu $A(e): E \rightarrow (0,1)$; $W: E \rightarrow Z^+$ her bağlantıdaki dalga boyu sayısı; burada $(0,1)$ 0 ve 1 arasındaki pozitif gerçek sayı dizisini ve Z^+ pozitif tamsayıyı gösterir. c)

verili bir kullanılabilirlik hedefi, geliş zamanı, gecikme toleransı ve hizmet süresi ile belirlenen kaynak-hedef arasındaki bağlantı talebi.

İstenen: Farklılaştırılmış hizmet sağlayarak her trafik bağlantısı için yolların belirlenmesi. Gelen bağlantı isteğine, hizmet kalitesine bağlı olarak (i) koruma verilmez ya da (ii) yol paylaşımlı koruma veya (iii) yol atamalı koruma verilir.

Gelen ve kurulu her bağlantı isteği için, sırasıyla korumasız, yol paylaşımlı korunan ve yol atamalı korunan bağlantılar için, herhangi bir zamanda oluşan ağdaki mevcut bağlantı yolları dizileri aşağıdaki şekilde gösterilir:

$$P_u = \{(l_w^i, t_a^i, t_h^i)\}, P_s = \{(l_w^i, l_b^i, t_a^i, t_h^i)\}, P_d = \{(l_w^i, l_b^i, t_a^i, t_h^i)\}.$$

Dörtlü $\{(l_w^i, l_b^i, t_a^i, t_h^i)\}$ sırasıyla, i . sırada sağlanan bağlantı için asal yolu, yedek yolu, bağlantı isteği geliş zamanını ve hizmet süresini belirtir.

Amaç: Yedek kaynak yatırımını ve bloke olma olasılığını en aza indirirken gelen bağlantı talebinin kullanılabilirlik gereksinmelerini karşılamaktır.

Her düğümden dinamik olarak bağlantı talepleri üretilir. Bağlantı sağlayıcı ağ, gelen istek için tek bağlantı yolu veya yol çiftiyle isteğin kullanılabilirlik talebini sağlayamıyorsa, talep reddedilir.

Yedek kaynak kullanımını takip etmek için, yedek yollar arasındaki paylaşım potansiyelini belirlemek amacıyla her kanal için bir çakışma dizisi tutulmaktadır. e kanalı için çakışma dizisi v_e , bir tamsayı dizisi olarak temsil edilebilir $\{v_e^{e'} \mid e' \in E, 0 \leq v_e^{e'} \leq f(e')\}$; burada $v_e^{e'}$, kanal e' 'den geçen ve e kanalı tarafından korunan asal yol sayısını belirtir (yani, e kanalından geçen ilgili yedek yolları). Bu nedenle e kanalında yedek yollar için ayrılan dalga boyu sayısı $B(e) = \max_{e' \in E} \{v_e^{e'}\}$ 'tir (Ou vd., 2004).

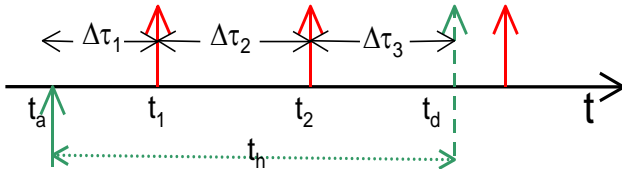
Kullanılabilirliği garantili, hizmet ayrıştırılabilir kurulum (AGSDP) yöntemi

AGSDP algoritması (Song vd., 2007), hizmet süresini göz önünde bulundurmaksızın gelen bir

bağlantı için kullanılabirlik gereksinimini karşılamak amacıyla korumasız, yol paylaşımli koruma veya yol atamalı koruma sağlanmasının gerekli olup olmadığını belirler. Kaynağı sağlamadan önce, bağlantının kullanılabirliği “dinamik kullanılabirlik hesabı” bölümünde gösterildiği gibi hesaplanır.

Verili bir kaynak-hedef çifti (s,d) için atanan bağlantı maliyetlerine göre en kısa yol algoritmasıyla asal ve yedek yolları – birinin ardından diğerini – bulmaya çalışan iki adımlı, düğüm-çakışmasız, yol çifti algoritması kullanılmaktadır.

Algoritma ilk olarak en güvenilir yol (MRP) olarak bir asal yol, p bulmaya çalışmaktadır. Eğer HDA’de belirtilen kullanılabirlik gereksinimini karşılayamazsa, yedek yol b ’yi s ’den d ’ye kadar en düşük maliyetle hesaplar. Burada, yedek yollar için, temel versiyonu (Ou vd., 2004)’te tanımlanan maliyet fonksiyonu $C(e)$ kullanılmaktadır. $C(e)$, kanal maliyet hesabına yedek havuzun kullanılabirliği ve yükü tümlenmektedir. $\alpha(e) = (N(e) + 1) / B(e)$, $\beta(e) = (N(e) + 1) / (B(e) + 1)$, $\varepsilon = 10^{-5}$ ve $f(e)$, e kanalı üzerindeki boş dalga boyu sayısını göstermek üzere, herhangi bir yedek kanal e adayı için $C(e)$ maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanır (Şekil 1):



Şekil 1. Bağlantı isteğinin hizmet süresi (t_h) içerisinde ayrılan bağlantılar (t_1 ve t_2)

$$C(e) = \begin{cases} \infty & (i) \\ \varepsilon \cdot \alpha(e) \cdot (-\log A(e)) & (ii) \\ 1 + \varepsilon \cdot \beta(e) \cdot (-\log A(e)) & (iii) \end{cases} \quad (4)$$

Denklem 4’te (i), (ii), ve (iii) aşağıdaki koşullara karşılık gelmektedir:

- (i) $e \in p$ ise veya $f(e)=0$ ve $\exists e' \in p, v_e^{e'} = B(e)$ ise;
- (ii) $\forall e' \in p, v_e^{e'} < B(e)$ ise;

(iii) aksi halde, $f(e)>0$ ise.

Durum (i) (sonsuz maliyet), yedek yolu yönlendirmek için kanaldaki kaynakların yetersiz olduğu duruma tekabül eder. Durum (ii) (ihmal edilebilir maliyet), gelen bağlantı için fazladan yedek kapasite sağlamaya gerek olmadığına paylaşılabir yedek havuzun varlığına tekabül eder. Durum (iii) (tam maliyet) yedek havuzuna yeni bir dalga boyu eklenmesi gerektiği durumdur. Kanalın maliyeti bu üç farklı duruma göre hesaplanır. Bu maliyet hesaplaması, en güvenilir yolun (MRP) seçilmesine yardımcı olurken aynı zamanda, yol paylaşımli koruma kanalı kullanılabirlik gereksinimini engellemediği sürece, yedek kapasiteyi olabildiğince paylaştırmaya çalışır. Bu yöntem, bağlantıların hizmet süreleri bilgisini kullanmamaktadır.

Hizmet süresini gözetim AGSDP (HT-AGSDP)

Hizmet süresini gözetim bir yaklaşımla, aday yedek yolların gelecekteki paylaşılabirliği tahmin edilebilir ve bu ilave bilgi, eğer doğru değerlendirilirse, daha etkin bir kaynak kullanımı sağlayabilir.

HT-AGSDP algoritmasında aday yedek yollar kanal maliyetine göre seçilir ve her kanal maliyeti kaynaklar verilmeden önce sisteme yeni giren bağlantı için güncellenir. HT-AGSDP de bu hesap yapılırken sistem kaynaklarının gelecekteki durumları da hesaba katılır. Gelecekteki çıkışları göz önünde tutarak maliyet hesaplaması $C(e)$ iyileştirilebilir.

Şekil 1’de, t_a zamanında gelen bir bağlantı için maliyet hesaplaması örneği verilmektedir. Bu bağlantının t_h hizmet süresinde mevcut iki bağlantı t_1 ve t_2 zamanlarında sistemden ayrılmaktadır. t_a zamanında bağlantıyı sağlamadan önce bütün yedek kanal maliyetleri, t_1 ve t_2 zamanlarında ayrılan diğer iki bağlantı göz önüne alınarak hesaplanır. $\Delta\tau_i$, sonraki i . ayrılmaya kadar e maliyetinin hesaplandığı zaman aralığı olarak tanımlanırsa, t_i zamanındaki güncellenmiş maliyet sonraki ayrılma t_{i+1} zamanına kadar $C(e, \Delta\tau_{i+1})$ olacaktır. Şekil 1’de görüldüğü gibi,

ilk zaman aralığındaki kanal maliyeti, sırasıyla ve sistemden ayrılan her bağlantı sonrasında t_1 zamanında güncellenecektir. Bu nedenle, t_a zamanında gelen bağlantı için kanal maliyetleri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$C'(e) = \frac{1}{t_h} \left(\begin{array}{l} \Delta\tau_1.C(e, \Delta\tau_1) + \Delta\tau_2.C(e, \Delta\tau_2) \\ + \Delta\tau_3.C(e, \Delta\tau_3) \end{array} \right) \quad (5)$$

Bu zaman aralığı, ağırlıklı toplam ve kısmi maliyet hesaplama yaklaşımı, kısmi ve tam olmak üzere farklı paylaşılabirlik derecelerinin tanımlanmasını sağlar. Burada, başlangıçta kısmen paylaşılabir (durum (ii) ihmal edilebilir maliyetli) olan bazı bağlantıların çıkışlar nedeniyle paylaşılamaz hale gelebildiği görülmektedir ve bu nedenle maliyet ataması tam maliyetli durum (iii)'a dönüşebilir. Diğer yandan tam paylaşımli kanallar ihmal edilebilir maliyetli durum (ii)'de kalacaktır. Paylaşılamayan kanalların maliyeti ise, $\beta(e)$ 'deki değişiklikler nedeniyle olası küçük artışlara rağmen tam maliyetli olarak kalacaktır.

Gecikme toleranslı kullanılabilirlik-garantili koruma (ADT)

Bağlantıları gecikme toleransı sürelerine göre yeniden düzenlerken bir strateji kararlaştırılması için geleneksel AGP yaklaşımındaki bloke olma nedenlerinin analiz edilmesi gerekir. ADT, AGP'nin bloke olma sebebine göre farklı çözüm yolları önermektedir.

AGP ve bloke olma

Şekil 2, Algoritma 1, adım 1'de AGP önce güvenilir yol (MRP) olarak birincil bir yol bulmayı dener. HDA'daki adım 2'deki kullanılabilirlik şartını sağlayamazsa s'ten d'ye minimal maliyetle yedek yolu l_b hesaplar. AGP'de bağlantı istekleri iki nedenden engellenebilir:

- (1) Bağlantı istekleri ağda kaynak olmaması nedeniyle adım 1 ve 2'de engellenir (Blok-R).
- (2) Bağlantılar adım 3'teki gibi isteklerin kullanılabilirlik şartının sağlanmaması nedeniyle reddedilir, bu da iki alt gruba ayrılabilir: (a) Mevcut bağlantı isteğinin kullanılabilirlik talebini sağlayan bir yol çifti bulunamazsa gerçek-

leşir. (Blok A) (b) Aday paylaşımli yedek yol, mevcut yedek paylaşım kanallarının (BSCG) kullanılabilirliğini düşürürse gerçekleşir (Blok-S).

Algoritma 1.

AGP (Kullanılabilirlik-Garantili Koruma)

Giriş: $G(v,e)$, W , $R=\{s, d, t_a, A_r, t_h, t_d\}$

Çıkış: İstek engellenir veya yol P_u veya yol çifti P_s kurulur.

$A_{shared}(l_w, l_b)$ paylaşımli-yol korumalı yol çiftinin kullanılabilirlik hesabını gösterir, burada l_w, l_b çalışan ve yedek yolları gösterir.

1. $l_w = MRP(s,d)$ hesaplanır.

If $A(l_w) > A_r$ ise yollardan biri isteği karşılar.

P_u için Adım 4'e git.

Else If Bir yol (path) yoksa BLOK-R

2. Bağlantı maliyeti fonksiyonuna, $C(e)$, göre

minimum maliyeti l_b hesapla.

If bir yol (path) yoksa BLOK -R

3. **If** $A_{shared}(l_w, l_b) > A_r$ ise $C = \text{check}(BSCG)$

If $C = \text{NULL}$ ise Adım 4'e git

Else BLOK -S

Else If $e \in l_b$ 'de boş W varsa, W 'yi yedek havuza

ekle ($B(e)++$)

Else BLOK -A

If $A_{shared}(l_w, l_b) > A_r$ ise $C = \text{check}(BSCG)$

If $C = \text{NULL}$ ise Adım 4'e git

Else BLOK -S

Else BLOK -A

4. Bağlantı sağlandı. Yol P_u veya yol çifti P_s kuruldu.

Şekil 2. Algoritma 1

Block-S'ten önce "BSCG'yi kontrol et" komutu verili bulunan yol ile çakışan bir kurulu bağlantı olup olmadığını kontrol eder ve çakışan bağlantıları (C), AGP'ye döndürür, bu da gelen bağlantının reddine neden olur. BSCG'de bir HDA tecavüzü oluştuğunda bağlantı isteği reddedilir veya AGSDP'de olduğu gibi atanmış koruma kullanılır. Burada zor olan soru, kaynak kullanımından taviz vermeden bloklamanın nasıl azaltılacağıdır.

Gecikme toleranslı AGP (ADT)

AGP’de kullanılabilirlik sınırlamaları nedeniyle istek yapıldığı anda karşılanamayan bir bağlantı, bir süre sonra kabul edilebilir, çünkü başka bağlantılar ağdan ayrılabilir, bu sayede paylaşım derecesi azalır ve kaynakların kullanılabilirliği artar. Yeni gelişler ve ayrılışlar nedeniyle kullanılabilirliğin nasıl değiştiği Şekil 1’de gösterilmiştir. ADT’de iki alternatif prosedür vardır (Şekil 3: Algoritma 2). İkisi de mevcut bağlantının gecikme toleransını ve aynı zamanda sistemdeki mevcut bağlantıların hizmet sürelerini kullanır.

Algoritma 2. ADT (Gecikme Toleranslı AGP)

Prosedür 1. ADT-S

Giriş: Çakışan bağlantının bitiş süresi ($t_e^C = t_a^C + t_h^C$) ve isteğin varış süresi (t_a^R), gecikme toleransı (t_d^R).

Çıkış: Bağlantı engellenir veya gecikir.

If $t_e^C < t_a^R + t_d^R + \varepsilon$ then $t_d^R = t_a^R + t_d^R - t_e^C$, $t_a^R = t_e^C + \varepsilon \cdot t_d^R$

Else BLOK-S

Prosedür 2. ADT-A

Giriş: Birinci ayrılan bağlantının bitiş süresi ($t_e^D = t_a^D + t_h^D$) ve isteğin varış süresi (t_a^R), gecikme toleransı (t_d^R).

Çıkış: Bağlantı engellenir veya gecikir.

If $t_e^D < t_a^R + t_d^R + \varepsilon$ then $t_d^R = t_a^R + t_d^R - t_e^D$, $t_a^R = t_e^D + \varepsilon \cdot t_d^R$

Else BLOK-A

Şekil 3. Algoritma 2

Bağlantıyı bloke etmek yerine ADT-S bağlantıyı, BSCG’deki çakışan bir bağlantının ayrılmasından sonraya yeniden planlarken, ADT-A, bağlantıyı mevcut bağlantılardan birinin ayrılmasına kadar geciktirir. Bağlantılar kuyrukta, sabırsız isteklere öncelik verilerek varış zamanlarına göre dizilir. AGP’deki BLOCK-S veya BLOCK-A yerine, ADT sırasıyla ADT-S ve ADT-A prosedürlerini çağırır (Şekil 3: Algoritma 2).

Performans değerlendirmesi

Algoritmanın performans değerlendirmesi için, dinamik bir ağ ortamı C++ ile geliştirilen benzetim çalışması ile üretilmiştir. Bağlantı gelişleri,

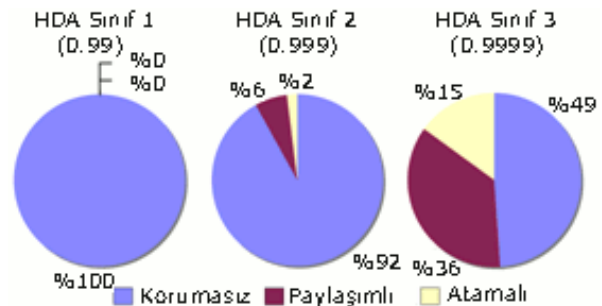
üssel olarak dağıtılan hizmet süreleriyle Poisson sürecini takip eder. Bu çalışmada kullanılan ağ topolojisi, 24 düğüme ve 43 adet çift yönlü kanala sahiptir (Song vd., 2007). Her fiber kanalının 16 dalga boyu kanalına sahip olduğu varsayılmaktadır. Fiber kanalların kullanılabilirliği, $\{0.999, 0.9999, 0.99999\}$ ve bağlantı taleplerinin kullanılabilirliği üç sınıf arasında $\{0.99, 0.999, 0.9999\}$ düzgün dağıtılmıştır. Bağlantı talepleri simetriktir ve bütün düğüm çiftleri arasında düzgün dağıtılmıştır.

HT-AGSDP üzerinde hizmet süresi hususunun açıkça gözlemlenebilmesi için bu teknik, aynı akışa ve benzer hedeflere sahip olan hizmet süresini gözetmeyen algoritma AGSDP ile karşılaştırılmıştır. Her iki algoritma farklılaştırılmış hizmetler sağladığından, bu hizmetler arasında kaynakların dağılımı analiz edilmiştir. Aynı zamanda, yedek kapasitenin veya ek kapasitenin etkili kullanımını gösteren yedek kaynak kullanım oranı (RO-Resource Overbuild) üzerindeki performans kazanımı da gözlemlenmiştir.

Benzer biçimde ikinci metod olan ADT, AGP ile B_p açısından karşılaştırılmış ve atamalı kaynak kullanmaksızın B_p ’nin önemli oranda düştüğü gözlemlenmiştir.

Farklı hizmet düzeylerinde kaynak dağıtımı

Üç farklı bağlantı kurulum metodu, kullanılabilirlik isteğine göre kullanılmaktadır: korumasız, paylaşımli korumalı ve atamalı korumalı. İlk olarak HT-AGSDP’de farklı hizmet sınıfları arasındaki kaynak dağılımını analiz edeceğiz (Şekil 4).

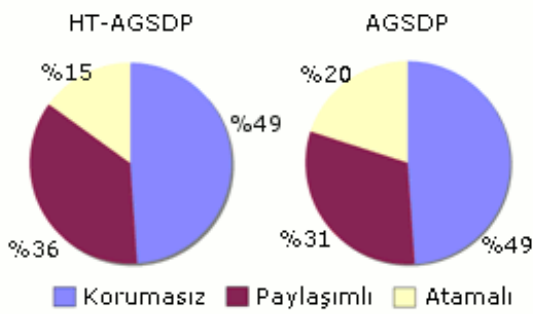


Şekil 4. Her biri 0.99, 0.999, ve 0.9999 olmak üzere kullanılabilirliğe göre 3 değişik HDA sınıfı için değişik bağlantı kurulum mekanizmalarının dağılımı (Yük=70 Erlang)

HDA Sınıf 1'deki bütün bağlantı taleplerinin korumasız olarak sağlandığı gözlemlenmiştir. Yol paylaşımli korumalı ve yol atamalı korumalı bağlantıların oranı, kullanılabilirlik talebindeki artışla birlikte artmaktadır. HDA Sınıf 3'te, yol paylaşımli korumalı bağlantıların oranı %36'ya ulaşırken yol atamalı korumalı bağlantılar, sağlanan bütün bağlantıların %15'ini oluşturmaktadır.

HT-AGSDP ve AGSDP'de kaynak dağılımı

HDA Sınıf 3, en fazla sayıda yol paylaşımli korunan yola sahip olduğundan, hizmet süresini gözetilen algoritmanın avantajlarının bu sınıfta görülmesi beklenmektedir. Bu nedenle, HDA Sınıf 3 içinde kaynak dağılımları karşılaştırılmıştır (Şekil 5). Her iki algoritmada korumasız bağlantı sayısı aynıdır çünkü maliyet hesaplaması asal yollar için her iki algoritmada da aynıdır. Ancak, paylaşımli yol kurulumu söz konusu olduğundan kaynakların maliyet hesaplaması farklı olduğundan dağılım değişmiştir. HT-AGSDP'nin sağladığı kazanç burada gözlemlenmektedir. HDA Sınıf 3 için kaynak dağılımlarının karşılaştırılmasıyla, HT-AGSDP'de yol atamalı korumalı bağlantılar için kaynak kazanım yüzdesinin %5 olduğu gözlemlenmiştir. Hizmet süresini gözetilen algoritma daha paylaşılabilir yolları tercih etmekte ve AGSDP'de %20 yerine %15 oranında atanmış koruma kullanmaktadır.



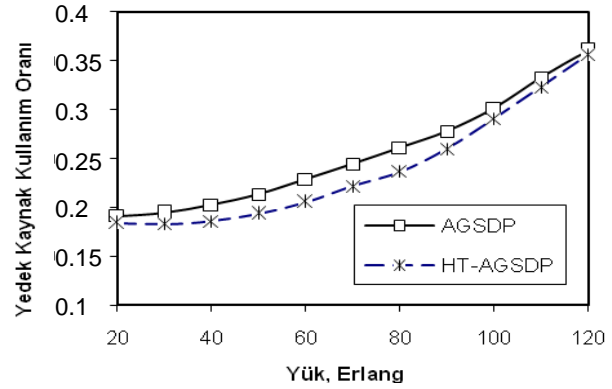
Şekil 5. HDA Sınıf 3 içerisinde korumasız, paylaşımli, korumalı ve atamalı korumalı bağlantıların dağılım karşılaştırması

Yedek kaynak kullanım oranı (RO)

Yedek kaynak kullanım oranı, ağda çalışan her bağlantı için kullanılan yedek bağlantıların

(kaynakların) miktarını gösterir. Kullanılan toplam yedek kanal kapasitesi ile asal yol kapasitesinin birbirine oranının zaman ağırlıklı olarak hesaplanmasıyla elde edilir.

Şekil 6'da, RO'nun ağ yüküne göre dağılımı HT-AGSDP ve AGSDP için görülmektedir. 20 ve 100 Erlang arasında trafik yükü için HT-AGSDP'nin, AGSDP üzerinde yaklaşık %2.5 kazanımı olduğu gözlemlenmiştir. RO kazanımı, daha yüksek yüklerde düşme eğilimi göstermektedir çünkü bir bağlantının çalışma süresi boyunca, gelen bağlantı sayısı artmaktadır ve yeni girişlerin hesaba katılmadığı sadece ilerdeki çıkışların bilinebildiği paylaşılabilirlik tahmini, algoritmanın performansında önemli bir değişim yaratmamaktadır.



Şekil 6. Yedek kaynak kullanım oranının trafik yüküne göre dağılımı

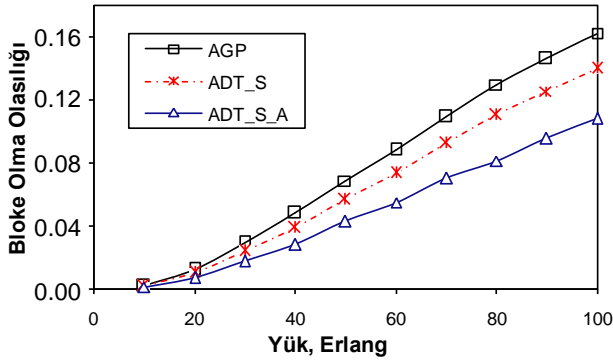
ADT

ADT algoritmasında, gecikme toleransının etkisi iki farklı bloklama türüne göre değişir: Block-S ve Block-A. ADT-S, sadece Prosedür 1'i uygular.

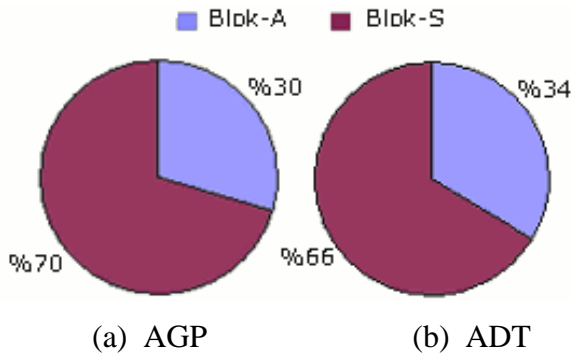
Şekil 7'den sadece Prosedür 1 kullanıldığında bile ADT'nin B_p 'yi önemli miktarda düşürdüğünü görebiliriz (ADT-S). ADT-S-A'da performans, Blok-A'daki bağlantı istekleri de yeniden hesaplanarak daha da iyileştirilebilir.

Bloke olma nedenleri arasında ADT'deki Block-S'i ve Blok-A'yı ayrı ayrı ele alalım. Şekil 8'de iki farklı neden için bloklama olasılıklarının dağılımı gösterilmiştir. AGP için Şekil

8(a)'da toplam engellenen bağlantıların %70'inin Blok-A'dan ve %30'unun Blok-S'den olduğu gösterilmiştir. ADT-S-A için, Şekil 8(b)'de Blok-S nedeniyle engellenen bağlantı oranı % 4 artmıştır. Bunun nedeni ADT'de toplam B_p 'nin düşmesi ve iletişim ağının daha iyi bir kullanıma ulaşmasıdır, çünkü ağ, aynı trafik yükü için daha fazla sayıda bağlantı kurmaktadır. Dolayısıyla Blok-S oranı artmaktadır.



Şekil 7. Farklı yük değerlerine göre bloke olma



Şekil 8. Erlang 70 trafık yükünde farklı blokla-ma nedenleri için blokla-ma olasılığı dağılımlarının karşılaştırılması

Sonuç olarak boş kapasite kullanımını için fazladan kaynak kullanımına gerek kalmaksızın, B_p düşüşü elde edilmiştir.

Şuna dikkat çekmek gerekir ki her ne kadar bağlantı istekleri kaynak olmaması nedeniyle de (Blok-R) engellenebilirse de buradaki gösterimlerde BLOK-A ve BLOK-S üzerine odaklanılmıştır. ADT benzetimlerinde bunu sağlamak amacıyla, kaynak aşırı yüklemesine ulaşmadan önce, istekler sağlanamayan kullanılabirlik talepleri nedeniyle bloklanır (Blok-A veya Blok-

S), dolayısıyla Blok-R miktarı ihmal edilebilir düzeyde tutulur.

Sonuç

Bu çalışmada kullanım-garantili hizmet-ayırıştırma tedarik konusunda geliştirilen farklı iki yaklaşım tanıtılmıştır.

İlk olarak, HT-AGSDP, yedek paylaşımını optimize etmek için hizmet süresini gözetim, kullanılabirliği garantili hizmet farklılaştırması olan bağlantı sağlama yaklaşımı sunulmuştur. Bağlantı gelişlerinin hizmet süreleri kullanılarak, örnek bir ağ topolojisinde, ortalama yük seviyelerinde yedek kaynak kullanımında önemli tasarruflar yapılabildiği benzetim ortamında gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, bağlantıların ilerideki paylaşılabilirlik ve kullanılabirlik durumunun, bu bağlantıya kaynak sağlanmasından sonra değişebileceği gösterilmiştir.

İkinci olarak, boş yedek kapasite kullanımında taviz vermeden B_p 'nin en küçüklenmesi için gecikme-toleransı gözetim bağlantı tedariki yöntemi, ADT, tanıtılmıştır. Bağlantı isteklerinin gecikme toleransı esnekliğini kullanarak ve farklı yeniden planlama yöntemleri kullanarak tüm yüklerdeki B_p 'nin düşürüldüğü gösterilmiştir.

Kaynaklar

- Cavdar, C., Tornatore, M. ve Buzluca F., (2009). Availability-guaranteed connection provisioning with delay tolerance in optical WDM mesh networks, *Proceedings, OFC 2009, San Diego, CA*.
- Cavdar, C., Song L., Tornatore, M. ve Mukherjee, B., (2007). Holding-time-aware and availability-guaranteed connection provisioning in optical WDM mesh networks, *Proceedings, High Capacity Optical Networks and Enabling Technologies (HONET), 1-7, Dubai, UAE*.
- Clouqueur, M., ve Grover, W., (2002). Availability analysis of span restorable mesh networks, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, **20**, 4, 810-822.
- Grover, W.D., (1999). High availability path design in ring based optical networks, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, **7**, 4, 558-574.
- Lawrence, J., (2001). Designing multiprotocol label switching networks, *Communications Magazine*, **39**, 7, 134-142.

- Li, G., Wang, D., Kalmanek, C., ve Doverspike, R., (2002). Efficient distributed path selection for shared restoration connections, *Proceedings, IEEE INFOCOM*, 140-149, New York, NY.
- Mello, D.A.A., Pelegriani, A., Ribeiro, R.P., Schupke, D.A. ve Waldman, H., (2005a). Dynamic provisioning of shared-backup path protected connections with guaranteed availability Requirements, *Proceedings, International Workshop on Guaranteed Optical Service Provisioning (GOSP)*, Boston, MA.
- Mello, D.A.A., Schupke, D.A. ve Waldman, H., (2005b). A matrix-based analytical approach to connection unavailability estimation in shared backup path protection, *IEEE Communications Letters*, **9**, 9, 844-846.
- Ou, C., Zhang, J., Zhang, H., Sahasrabudde, L.H., ve Mukherjee, B., (2004). New and improved approaches for shared-path protection in WDM mesh Networks, *IEEE Journal of Lightwave Technology*, **22**, 5, 1223-1232.
- Song, L., Zhang, J. ve Mukherjee, B., (2007). Dynamic provisioning with availability guarantee for differentiated services in survivable mesh networks, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, **25**, 3, 35-43.
- Tornatore, M., Ou, C.S., Zhang, J., Pattavina, A. ve Mukherjee, B., (2005a). PHOTO: An efficient shared-path protection strategy based on connection-holding-time awareness, *IEEE/OSA Journal on Lightwave Technology*, **23**, 10, 3138-3146.
- Tornatore, M., Maier, G. ve Pattavina, A., (2005b). Availability design of optical transport networks, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, **23**, 8, 1520-1532.
- Zhang, J., Zhu, K., Zhang, H., Matloff, N.S. ve Mukherjee, B., (2007). Availability-aware provisioning strategies for differentiated protection services in wavelength-convertible WDM mesh networks, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, **15**, 5, 1177-1190.
- Zhang, J., Zhu, K., Zang, H. ve Mukherjee, B., (2003). A new provisioning framework to provide availability-guaranteed service in WDM mesh networks, *Proceedings, International Conference on Communications*, Anchorage, AL.