

Çoklu Hızlı Kablosuz Yerel Ağlarda Kanal Zamanı Adaleti Sağlayan Dağıtımli Bir Çözüm

A Distributed Solution for Air-Time Fairness in Multi-Rate WLANs

Mehmet Akif Yazıcı, Nail Akar
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Bilkent Üniversitesi
Ankara, Türkiye
Email: {yazici,akar}@ee.bilkent.edu.tr

Özetçe —IEEE802.11 standartlarını kullanan kablosuz yerel ağların, ağdaki yavaş istasyonlara bağlı olarak performans anomalisi yaşadığı bilinmektedir. Tüm istasyonların kanala erişim olasılıkları eşit olduğundan, tüm istasyonların kümülatif olarak elde ettiği veri gönderim hızı, yavaş istasyonların hızlarına yakın olmaktadır. Bu probleme çözüm olarak kanal zamanı adaleti önerilmiştir. Bu çalışmada, kanal zamanı adaletini sağlayan ve dağıtımli olarak çalışabilen bir metot önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler—IEEE 802.11 Dağıtımli Koordinasyon Fonksiyonu, kanal zamanı adaleti, çoklu hızlı kablosuz yerel ağ, performans anomalisi.

Abstract—WLANs employing IEEE802.11 standards suffer from a performance anomaly that drags down the fast nodes in the WLAN due to the slow nodes. Air time fairness has been proposed to battle this anomaly. We propose a novel distributed method to achieve air time fairness in this study.

Keywords—IEEE 802.11 Distributed Coordination Function, air time fairness, multi-rate wireless network, performance anomaly.

I. GİRİŞ

Kablosuz yerel ağlarda (WLAN) en yaygın kullanılan protokol seti, IEEE 802.11 çalışma grubu tarafından yayınlanan settir. Bu protokoller, ortama erişim kontrolü için Çarpışmadan Kaçınan Taşıyıcı Dinleyen Çoklu Erişim (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA) Protokolünü kullanırlar. CSMA/CA protokolü, Dağıtımli Koordinasyon Fonksiyonu (Distributed Coordination Function, DCF) adı verilen bir mekanizmaya dayanır [1]. IEEE 802.11 protokol seti, DCF için iki seçenek sunar: (i) temel erişim, (ii) Gönderme İstemi/Gönderme İzni (Request-to-Send/Clear-to-Send, RTS/CTS) mekanizması. Temel erişim, RTS/CTS mekanizmasına göre çok daha yaygın kullanılır. Bu metotta her kablosuz istasyon, Çekişme Penceresi (Contention Window, CW) adı verilen bir parametre tutar. Gönderecek paketi olan bir istasyon, öncelikle ortamı dinlemeli ve bir Dağıtımli Çerçeveller-arası Boşluk (Distributed Interframe Space, DIFS) süresince ortamı boş bulmalıdır. Bunun ardından, 0 ile $CW - 1$ arasında (iki uç dahil) rasgele bir sayı atar, ve bu miktarda dilim süresi boyunca bekler. Bu dilimleri sayan

sayaç, ortam boş olduğu sürece her dilim süresinde bir azaltılır. Ortam meşgul olduğundaysa, boşalınca kadar sayaç durdurulur. Sayaç sıfırlandığında istasyon paketini gönderir. Gönderim başarılı olursa, paketin alıcısı, bir Kısa Çerçeveller-arası Boşluk (Short Interframe Space, SIFS) süresi bekleyip göndericiye geribildirim (ACK) paketi yollar. ACK zamanaşımı süresi içinde ACK alamayan gönderici, çarpışma olduğuna hükmeder. İstasyonların kullanacağı CW değeri için en az ve en çok değerler, CW_{min} ve CW_{max} , protokolda tanımlanmıştır. Çarpışma yaşayan her istasyon, CW parametresini, CW_{max} 'tan küçük olduğu sürece iki katına çıkararak aynı paketi tekrar göndermeye çalışır. Başarılı bir gönderimin ardından, gönderici istasyon, CW parametresini CW_{min} olarak günceller.

IEEE 802.11 protokol seti, birden fazla veri hızını desteklemektedir. Örneğin 802.11b [2], 1, 2, 5.5 ve 11 Mbps veri hızlarını desteklerken, 802.11a [3], 6, 9, 12, 18, 24, 35, 48 ve 54 Mbps veri hızlarını desteklemektedir. Farklı hızlara sahip istasyonlardan oluşabilen çoklu hızlı kablosuz yerel ağlar, istasyonların mümkün olan en üst kapasitelerine ulaşmayı engelleyen performans anomalisi problemiyle karşı karşıyadır. CSMA/CA algoritmasının kanal erişimi olasılığı bazında adil olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, hızlarından bağımsız olarak, sistemdeki tüm istasyonlar birim zamanda aynı sayıda gönderi yapacaklar ve tüm istasyonların veri aktarım hızı, en yavaş istasyonla aynı olacaktır [4]. Bu problemle başa çıkmak için zaman bazlı adalet önerilmiştir [5]. Tüm istasyonların kanalı kullanım sürelerinin eşit olmasının sağlandığı sistemler, kanal zamanı bakımından adildirler.

A. Kanal Zamanı Adaleti

Kanal zamanı adaletini sağlamak için çeşitli metotlar önerilmiştir. Bir yaklaşım, CW_{min} parametresini bu amaç için kullanmak olabilir. Bu yaklaşım, [6], [7]'de gösterildiği üzere, bir takım varsayımlar altında istasyonların ulaştığı veri hızlarının CW_{min} ile ters orantılı olmasına dayanır. Ancak CW_{min} oranları sabit olan iki istasyon sınıfının veri hızı oranlarının istasyon sayısına da bağlı olabildiği rapor edilmiştir [8]. Ayrıca istasyonların hızlarının oranı büyüdüğünde, oldukça büyük CW_{min} değerlerine ihtiyaç duyulabilir. Bunun sonucunda da kanal kullanım oranı hayli düşebilir [9].

Bir başka yaklaşım da paket parçalamadır. Bu metotta, yavaş istasyonlar paketlerini daha küçük parçalara ayırarak, hızlı istasyonların bir pakete harcadığı zamanı bu paket parçalarıyla yakalamaya çalışırlar. Bu yöntemi öneren çalışmalardan [10], üst katmanların paketlerinin parçalanmasını önerirken, [11], IP Yolu En Büyük İletim Birimi Keşfi (IP Path MTU Discovery) mekanizmasının kullanılmasını önermektedir. Bu yöntem, katmanlar-arası iletişimin getireceği uygulama karmaşıklığının yanısıra, paket boylarının azalmasıyla artan paket başlık ve kuyruk yükü sebebiyle kanal kullanım oranında düşüşe sebep olmaktadır.

Bir çözüm de, IEEE 802.11e standardında önerilmiş olan paket kümelemesidir. Bu metotta istasyonlar, kanalı elde ettiklerinde iletim fırsatı (transmission opportunity, TXOP) denilen süreyi aşmamak şartıyla birden fazla paket gönderebilmektedirler. Bu metodun dezavantajları ise, ortalama paket gecikmesinin artması, hızlı istasyonların art arda çok paket göndermesi sonucu kısa vadeli adaletin bozulması ve TXOP süresine tam olarak sığmayan paket büyüklükleri sonucunda ya paket parçalaması gerektirmesi, ya da parçalamadan kaçınmak adına adaletten bir miktar feragat edilmesi gerekliliğidir.

Bu çalışmada, kanal zamanı adaletini sağlayan yeni bir dağıtımlı çözüm önerilmektedir. Çoklu DCF (Multiple DCF, MDCF) olarak adlandırdığımız bu metotta, her istasyon ihtiyaç duyduğu kanal zamanı miktarına bağlı olarak kendi içinde belirli sayıda DCF algoritması çalıştırır. Böylece, her bir istasyon yerine, adeta birden fazla sayıda “sanal istasyon” ortaya çıkmış olur. Bu sanal istasyonlardan herhangi birinin sayacı sıfırlandığında, sanal istasyonun bağlı olduğu gerçek istasyon, elindeki paketi gönderir. Hızlı istasyonlar daha fazla sanal istasyon kullanarak kanala erişim olasılıklarını artırırılar. Tüm istasyonlar hızlarıyla ters orantılı olarak sanal istasyon sayılarını seçtiklerinde, her bir sanal istasyonun kanala erişim olasılığı aynı olacağı için istasyonlar arası kanal zamanı adaleti sağlanmış olur.

II. ÇOKLU DCF YÖNTEMİ

K istasyonun yer aldığı bir WLAN düşünelim. Bu istasyonların her zaman gönderecek paketleri olduğunu varsayalım. Bir i istasyonunun veri hızını R_i , paket boyutunu da P_i ile gösterirsek, bir paket için ihtiyaç duyacağı kanal zamanı $A_i = P_i/R_i$ olur. Burada, istasyonların paket boyutlarının sabit kaldığı varsayılabilceği gibi, paket boyunun istasyonun kendisi tarafından ölçülen bir ortalama değer ile temsil edildiği de düşünülebilir. İstasyonların, herhangi bir paket için gereken en yüksek kanal zamanı, A_{\max} 'ı da bildiklerini varsayacağız. Bu varsayım, A_{\max} 'ın sadece protokol parametrelerine bakarak bilinebilmesinden ötürü gerçekçidir; zira A_{\max} , protokolce izin verilen en büyük paket boyunun desteklenen en küçük veri hızına bölümüyle bulunabilir.

Her istasyon, A_{\max} 'ı, ihtiyaç duyduğu kanal zamanı olan A_i 'ye bölerek, çalıştıracağı DCF algoritması sayısı olan $N_i = A_{\max}/A_i$ değerini bulur. Sistemdeki toplam sanal istasyon sayısını $\mathbf{N} = \sum_{i=1}^K N_i$ ile gösterirsek, N_i adet DCF çalıştıran bir istasyonun kanala erişme olasılığı N_i/\mathbf{N} olur. Bu istasyonun, paket iletimi için kullanılan toplam kanal zamanından elde ettiği oran

$$\frac{\frac{N_i}{\mathbf{N}} A_i}{\sum_{i=1}^K \frac{N_i}{\mathbf{N}} A_i} = \frac{A_{\max}/\mathbf{N}}{\sum_{i=1}^K A_{\max}/\mathbf{N}} = \frac{1}{K}$$

olduğundan, MDCF metodu, kanal zamanı adaletini sağlamış olur.

N_i 'nin tam sayı olmadığı durumlar için $\lfloor N_i \rfloor$ ve $\lceil N_i \rceil$ sayıda algoritma arasında uygun bir biçimde gidip gelen bir sistem öneriyoruz. Örneğin, iki istasyonlu bir senaryoda, N_2 'nin tam sayı olduğunu, N_1 'in ise olmadığını varsayalım. Bu gibi bir senaryoda şu çözümü öneriyoruz. 1. istasyon, B_- gibi bir ortalamayla geometrik olarak dağılmış rassal sayıda başarılı paket iletimleri süresince $\lfloor N_i \rfloor$ sayıda, ve B_+ gibi bir ortalamayla geometrik olarak dağılmış rassal sayıda başarılı paket iletimleri süresince de $\lceil N_i \rceil$ sayıda algoritma kullanır. $B = (B_-) + (B_+)$, $B_- = a_1 B$ ve $B_+ = (1 - a_1) B = b_1 B$ tanımlarıyla, bu işlemi daha açık biçimde şöyle ifade edebiliriz. 1. istasyon, $\lfloor N_i \rfloor$ sayıda algoritma çalıştırırken başarılı bir paket iletimi gerçekleştirdiğinde, $\frac{1}{a_1 B}$ olasılıkla yeni bir algoritma çalıştırmaya başlar. Böylece, her başarılı iletiminin ardından, $\frac{1}{a_1 B}$ olasılıkla $\lceil N_i \rceil$ sayıda algoritmaya geçiş yapmış olur. Aynı şekilde, $\lceil N_i \rceil$ sayıda algoritma çalıştırırken başarılı bir paket iletimi gerçekleştirdiğinde, $\frac{1}{b_1 B}$ olasılıkla algoritmalarından birini yok ederek, $\lfloor N_i \rfloor$ sayıda algoritmaya geçiş yapmış olur.

1. istasyonun B tane başarılı paket iletimi süresince, 1. ve 2. istasyonların harcadığı kanal zamanlarını T_1 ve T_2 ile gösterelim. $T_1 = B A_1 = B A_{\max}/N_1$ olduğu açıktır. 2. istasyon içinse,

$$T_2 = \frac{A_{\max}}{N_2} \left(\frac{N_2}{\lfloor N_1 \rfloor} a_1 B + \frac{N_2}{\lceil N_1 \rceil} (1 - a_1) B \right)$$

yazılabilir. Kanal zamanı adaleti için $T_1 = T_2$ olması gerektiğinden, bu iki denklem kullanılarak a_1 ve b_1 çözülebilir:

$$a_1 = \frac{\lfloor N_1 \rfloor}{N_1} (\lceil N_1 \rceil - N_1), \quad b_1 = \frac{\lceil N_1 \rceil}{N_1} (N_1 - \lfloor N_1 \rfloor). \quad (1)$$

a_1 ve b_1 değerleri, 2. istasyonun herhangi bir parametresine bağlı olmadığından, MDCF metodu, tamamen dağıtımlı olarak çalışabilir.

Bu senaryodaki $K = 2$, ve N_2 'nin tam sayı olma şartlarının genelleştirilmesi mümkündür. Bu durumda, her istasyon, (1) ifadelerini genelleştirerek, kendisi için a_i ve b_i değerlerini hesaplayabilir. Bu genel durumda, MDCF metodunun kanal zamanı adaletini sağladığı, Markov zinciri tabanlı bir modelle isbatlanabilir; ancak bu isbata, yer kısıtı dolayısıyla bu makalede yer verilmemiştir.

MDCF kullanımında ilginç bir durum, aynı istasyona ait sanal istasyonlardan birden fazlasının aynı anda paket göndermeye çalışması durumunda ortaya çıkar. Bu durum, istasyonun çalıştırdığı DCF sayaçlarından en az ikisinin aynı anda sıfırlanmasıyla ortaya çıkar. Sistemdeki sanal istasyon sayısınca gerçek istasyonu olan bir sistemde bu durumda çakışma gerçekleşecek, gönderilen paketler yerlerine ulaşmayacak ve kanal, çakışma süresince meşgul olacaktır. MDCF durumunda, sanal istasyonları iç-çakışmaya sebep olan bir istasyon, kanalın boşuna kullanılmasını önlemek adına sanal istasyonlarının adına herhangi bir paket göndermez. İç-çakışmaya dahil olan sanal istasyonlar, çakışma yaşamış gibi CW değerlerini iki katına çıkarırlar, DIFS süresi bekleyerek tekrar kanalı dinleme moduna girerler. Bu iç-çakışma önleme mekanizması, her ne kadar yukarıda tarif edilen matematiksel modelden sapmaya sebep olsa da, kanal kullanımını boşuna düşürmemek adına tercih edilmiştir.

Tablo I. BENZETİM PARAMETRELERİ

Dilim zamanı	20 μ s	CW_{min}	32
DIFS süresi	50 μ s	CW_{max}	1024
SIFS süresi	10 μ s	$CW_{min}^{(MDCF)}$	156
ACK zaman aşımı	300 μ s	$CW_{max}^{(MDCF)}$	4992
ACK paketi boyutu	14 bayt	Paket boyutu	1500 bayt

III. BENZETİM ÇALIŞMASI

Bu bölümde, MDCF metodunun etkinliği, benzetim sonuçlarıyla ortaya konacaktır. Benzetim çalışması, MATLAB'da yazılan olay güdümlü bir benzetim programıyla gerçekleştirilmiştir. Çerçeveler-arası boşluk süreleri, ACK mekanizması ve zaman aşımı modellenmiş, fakat yayılım gecikmesi ihmal edilmiştir. Ayrıca, saklı istasyon olmadığı, tüm istasyonların tüm iletimleri duyabildiği varsayılmıştır. Benzetim senaryolarında, Tablo I'de verilen IEEE802.11b parametreleri kullanılmıştır. MDCF ile ilgili bir başka nokta da, MDCF sistemindeki (sanal) istasyon sayısının standart DCF'teki istasyon sayısına kıyasla daha fazla olmasıdır. Kaynak [12]'de, CW_{min} değerinin en uygun değerinin sistemdeki istasyon sayısına doğrusal olarak bağımlı olduğu gösterilmiştir. IEEE802.11b parametreleri kullanıldığında, desteklenen dört hızdan eşit sayıda kullanıcı olacağı varsayılırsa, ortalama (sanal) istasyon artış miktarı $(1+2+5.5+11)/4 = 4.875$ 'tir. Bu nedenle, MDCF benzetimlerimizde CW_{min} ve CW_{max} değerlerini, standart değerlerin 4.875 katı olarak kullandık.

Önerdiğimiz MDCF metodunun başarımının tesbiti için üç metrik kullandık. Bunlardan ilki, istasyonların aldığı kanal zamanı değerlerinin en düşüğünün en yükseğine oranı olarak tanımladığımız kanal zamanı adaletini gösteren (*air-time fairness* ifadesinden kısaltılmış olan) AF değeridir. AF metriğinin değerinin 1 olması, tüm istasyonların eşit kanal zamanı alabildiği anlamına gelir ki, bu ideal senaryodur. Diğer iki metrikse, tüm istasyonların kümülatif olarak ulaştığı ortalama veri gönderim hızı ile kanalın veri iletimi için kullanıldığı zamanın toplam zamana oranıdır.

İlk örnekte, iki istasyonlu bir senaryonun benzetimi yapılmıştır. Her iki istasyonun hızları, 1 Mbps ile 11 Mbps arasında 0.5 Mbps adımlarla değiştirilmiştir. Bu senaryodan elde edilen sonuçlar, Şekil 1, 2 ve 3'te verilmiştir. MDCF metodunun kanal zamanı adaletini oldukça iyi bir biçimde sağladığı açıktır. Bunun otomatik bir sonucu olarak, toplam veri hızında da, özellikle istasyonların hızlarının birbirinden farklı olduğu durumlarda, ciddi bir artış söz konusudur. Öte yandan, MDCF kullanıldığında, (sanal) istasyon sayısının artmasıyla çakışma sayısı da artmakta, dolayısıyla standart DCF metoduna göre kanal kullanım oranında bir kayıp gözlemlenmektedir. Ancak bu kaybın da %8 mertebesinin ötesine geçmediği anlaşılmaktadır. Kanal kullanım oranında görülen düşüşe rağmen, hızlı istasyonların kanala erişiminin artması sonucu, toplam veri hızında artış sağlanabilmektedir.

İkinci örnekte, MDCF metodunun istasyon sayısı açısından ölçeklenebilirliği incelenmiştir. Bu örnek için dört istasyondan oluşan bir temel grup tanımlanmış, ve birden ona kadar gruba sahip sistemlerin benzetimi yapılmıştır. Şekil 4'te verilen sonuçlar, 40 istasyona kadar olan durumlarda bile, MDCF metodunun kanal zamanı adaletini sağlayabildiğini göstermektedir. Standart DCF metodunun AF metriği ise, beklendiği gibi 1/11 civarındadır. Grup sayısı arttıkça MDCF

metodunda görülen kanal kullanım oranındaki düşüşün standart DCF metoduna göre daha fazla oluşu, MDCF metodunda eklenen herbir istasyon için sisteme ortalamada birden fazla sanal istasyonun eklenmesi, ve dolayısıyla çakışma olasılığının yükselmesidir.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, çok hızlı kablosuz yerel ağlar için kanal zamanı adaleti sağlayarak toplam veri hızını iyileştiren ve tamamen dağıtımlı çalışabilen MDCF metodu önerilmiştir. Bu metotta, her istasyon, ihtiyacı olan kanal zamanına ters orantılı bir sayıda sanal istasyonlar kullanır. Böylece, hızlı istasyonların kanala erişim olasılıkları artırılarak istasyonlar arasında kanal zamanı adaleti sağlanmış olur. MDCF metodu, kanal zamanı adaleti sağlamanın yanında, sınıflandırılmış hizmetler (differentiated services) için servis kalitesi (quality of service, QoS) sağlama amacıyla da kullanılabilir.

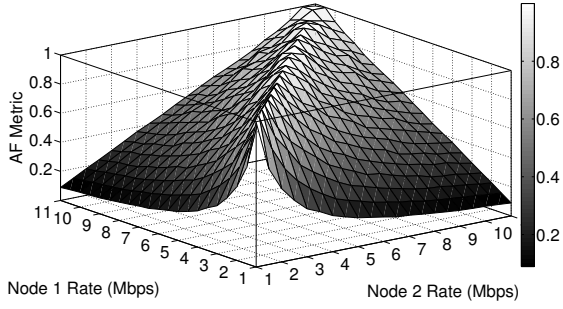
Bundan sonraki çalışmalar, MDCF metodunun neden olduğu kanal kullanım oranı düşüşünün, paket kümelemesi kullanılarak giderilmesi üzerine olacaktır.

TEŞEKKÜR

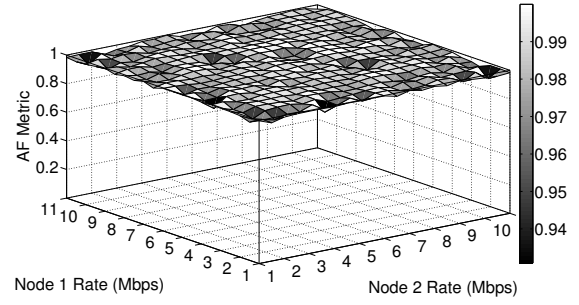
Bu çalışma, EEEAG-111E106 projesi kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] ANSI/IEEE, *802.11: Wireless LAN Medium Access Protocol (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. IEEE, 2007.
- [2] —, *802.11b: Wireless LAN Medium Access Protocol (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. IEEE, 1999.
- [3] —, *802.11a: Wireless LAN Medium Access Protocol (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. IEEE, 1999.
- [4] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel, and A. Duda, "Performance anomaly of 802.11b," *Proc. IEEE INFOCOM'03*, April 2003.
- [5] G. Tan and J. Guttag, "Long-term time-share guarantees are necessary for wireless LANs," in *In Proceedings of the SIGOPS European Workshop*, 2004.
- [6] B. Li and R. Battiti, "Performance analysis of an enhanced IEEE 802.11 distributed coordination function supporting service differentiation," in *Quality for All, 4th COST 263 International Workshop on Quality of Future, Internet Services, QoFIS 2003, Stockholm, Sweden, October 1-2, 2003, Proceedings*, ser. Lecture Notes in Computer Science, G. Karlsson and M. I. Smirnov, Eds., vol. 2811. Springer, 2003, pp. 152–161.
- [7] H. Kim, S. Yun, I. Kang, and S. Bahk, "Resolving 802.11 Performance Anomalies through QoS Differentiation," *IEEE Communications Letters*, vol. 9, pp. 555–557, July 2005.
- [8] I. Tinnirello, G. Bianchi, and L. Scalia, "Performance evaluation of differentiated access mechanisms effectiveness in 802.11 networks," in *Global Telecommunications Conference, 2004. GLOBECOM '04. IEEE*, vol. 5, nov.-3 dec. 2004, pp. 3007 – 3011 Vol.5.
- [9] T. Joshi, A. Mukherjee, Y. Yoo, and D. P. Agrawal, "Airtime fairness for IEEE 802.11 multirate networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 7, pp. 513–527, Apr. 2008, 4.
- [10] L. Iannone and S. Fdida, "Un schéma à division detemps pour éviter l'anomalie de la couche MAC 802.11b," in *Colloque Francophone sur l'Ingenierie des Protocoles*, Bordeaux, France, March 2005.
- [11] J. Dunn, M. Neufeld, A. Sheth, D. Grunwald, and J. Bennett, "A practical cross-layer mechanism for fairness in 802.11 networks," *Mob. Netw. Appl.*, vol. 11, no. 1, pp. 37–45, 2006.
- [12] E. Elhag and M. Othman, "Adaptive contention window scheme for WLANs," *The International Arab Journal of Information Technology*, vol. 4, no. 4, pp. 313–321, October 2007.

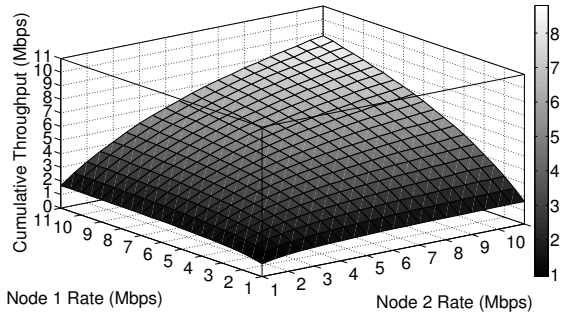


(a) Standart DCF

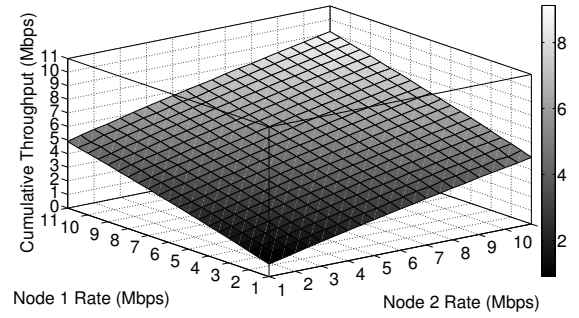


(b) MDCF

Şekil 1. MDCF'in standart DCF ile kanal zamanı adaleti açısından kıyası.

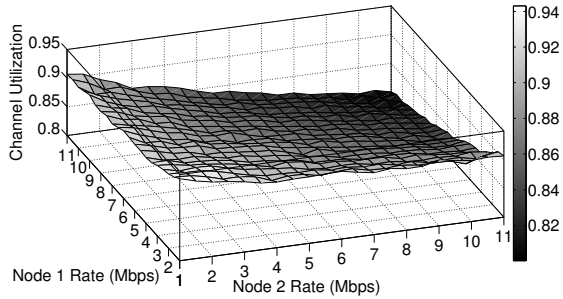


(a) Standart DCF

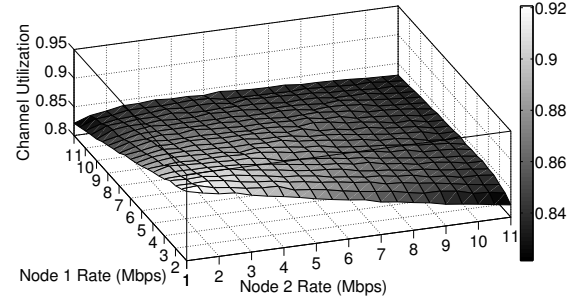


(b) MDCF

Şekil 2. MDCF'in standart DCF ile toplam veri hızı açısından kıyası.

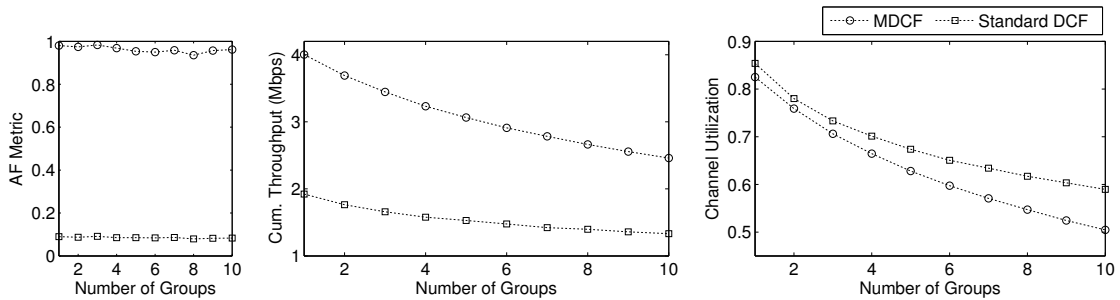


(a) Standart DCF



(b) MDCF

Şekil 3. MDCF'in standart DCF ile kanal kullanım oranı açısından kıyası.



Şekil 4. 40 istasyona kadar olan senaryolarda MDCF'in standart DCF ile kıyası.