

Oransız Kodlar Kullanılan Telsiz Ağlarda Yol Atama Routing in Wireless Networks Using Rateless Codes

Mehdi Duman , Tolga Girici

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Ankara
{mduman,tgirici}@etu.edu.tr

Özetçe

Kablosuz iletimde sifıra yakın hataya ulaşmak için kanal durum bilgisi gerekir. Hızlı sönmülenen kanallarda bu güncel bilgiye ulaşmak zordur. Bu durumda telsiz sönmümlü kanallarda önemli bir başarıml parametresi olan kesinti olasılığını göz önüne alınır. Belli kaynak kısıtlarına karşılık kesinti olasılığını en küçüklemek, veya belli bir kesinti olasılığını hedefine minimum miktarda kaynak kullanarak ulaşmak amaçlanır. Çeşitleme kavramı çoğunlukla sönmüleme ile mücadele etmek ve kesinti olasılığını azaltmak için kullanılır. Zamansal çeşitleme sağlayıp kesinti ile mücadele etmek için oransız kodlar kullanılabilir. Bu çalışma, kaynak, röle ve alıcıdan oluşan bir ağ göz önüne alınan bir ön çalışmadır. Benzetimler kullanarak, kaynak ve röledeki iletim güçleri ve iletim sayılarının kesinti olasılığını üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Abstract

Achieving zero error rate in wireless transmission requires exact channel state information, which is very hard due to fading channel conditions. Therefore outage probability, an important performance parameter in fading wireless channels, is considered. Minimizing the outage probability subject to certain resource constraints, or achieving a certain target outage probability with minimal resources are usually aimed. Diversity is a concept that is often exploited in order to combat with fading and decrease the outage probability. In order to achieve time diversity, rateless codes can be used. This work is a preliminary study that considers a small network of source, relay and destination. Using simulations, we studied the effects of transmission power, number of coded packet transmissions at the source and relay and their relations with end to end outage probability.

1. Giriş

Telsiz ortam kanal durumu açısından kablo ortamına göre çok daha zorlayıcı şartlar ortaya koymaktadır. İleticilerin sifıra yakın hata ile iletim yapabilmesi için kanal durum bilgisine sahip olmaları gerekmektedir. Fakat, hızlı değişim durumunda ileticilerin devamlı doğru kanal bilgisine sahip olması, çok fazla geri bildirim mesajına mal olduğu için mümkün olmaz. Bu gibi durumlarda sinyal-gürültü oranı belli bir değerin altına düşerse, belli bir kod oranı ile kodlanmış veri iletilemez ve bir kesinti oluşur. Kesinti olasılığı telsiz sönmümlü kanallarda önemli bir başarıml parametresidir. Belli kaynak kısıtlarına karşılık kesinti

olasılığını en küçüklemek, veya belli bir kesinti olasılığını hedefine minimum miktarda kaynak kullanarak ulaşmak amaçlanır.

Çeşitleme kavramı kesinti olasılığını azaltmak için kullanılan yaygın yöntemlerden biridir. Zamansal çeşitlemede alıcıda aynı veriye ait değişik zamanlarda alınan sinyallerden en iyisi seçilir. *Oransız kodlar* da bir tür zamansal çeşitleme elde etmek için kullanılırlar. Örnek vermek gerekirse rastgele doğrusal kodlamada bir dizi (K adet) paket içinden rasgele paketler alınarak içerikleri üzerinde XOR işlemi uygulanmaktadır ve bir kodlanmış paket elde edilmektedir. Alıcı K adetden biraz fazla kodlanmış paket aldığı zaman çok büyük olasılıkla bu K adet orijinal paketi elde edebilmektedir. Bu tür kodlara oransız kodlar adı verilir çünkü potansiyel olarak alıcı kod çözüne kadar sonsuz adet rasgele kodlanmış paket gönderilebilir. Oransız kodlar ilk olarak Luby tarafından [1] LT kodları olarak ortaya atılmıştır. Ayrıca oransız kodların üzerine bir diğer çalışma olan Raptor kodları [2]'de anlatılmıştır. [4]'de bir iletilici, bir alıcı ve çok sayıda röleden oluşan iki adımlı bir iletim sistemini ele alınmıştır. Çok adımlı ağlarda ise benzer bir problem henüz ele alınmamıştır.

Telsiz ağlarda teke ve çoğa gönderim durumlarında çeşitli yol atama algoritmaları önerilmiştir. Bu algoritmalarda iki özellikten yararlanır. İlk olarak enerji harcamasını azaltmak için kaynaktan alıcıya direkt iletim yerine çok sayıda kısa adımlar halinde iletim yapılmasıdır [5]. İkincisi ise, çoğa gönderimde enerji verimliliğini artırmak için telsiz ortamda yapılan iletimi bütün komşuların duyabilmesi özelliğini kullanmaktır [6]. Bu özellik sayesinde bir alıcı, kaynak ve rölenin gönderdiği sinyalleri alabiliyorsa bunları birleştirip sinyal-gürültü oranını artırır. Buna kablosuz işbirliği avantajı adı verilmiştir. [7]'de bir kaynaktan varış noktasına iletimde işbirliksiz yol atama ele alınmıştır. İşbirliği avantajını kullanan çoğa gönderim algoritmaları da önerilmiştir [8].

Çok adımlı telsiz yol atama ve çoğa gönderimde oransız kodların kullanımı ise henüz yeteri kadar ele alınmamış bir konudur. Literatürde özellikle kanal durumunun tam olarak bilinmediği durumda kesinti olasılığını dikkate alan yol atama algoritmaları üzerinde çalışılmamıştır. Literatürdeki bu boşluğu doldurmak amacıyla üç düğümlü sistem için üç farklı problem üzerinde çalışılmıştır. Bunlar; kesinti olasılığının en küçüklenmesi, iletim sayısının en küçüklenmesi ve toplam güç harcamasının en küçüklenmesidir. Daha sonra ise oransız kodlarla elde edilen kesinti olasılığını başarımlı, işbirlikli çeşitleme ile elde edilen başarımla karşılaştırılmıştır.

2. Sistem Modeli

Sistemde doğrusal topoloji halinde bir kaynak düğüm, bir röle ve bir alıcı vardır. Herhangi iki düğüm arasında iletilen sinyal gücünü zayıflatan üç temel faktör vardır, "uzaklığa bağlı yol kaybı, gölgelemeye bağlı sönmülme ve Rayleigh sönmülmesi". Kanaldaki hataların gürültüden ziyade büyük çoğunlukla sönmülme kaynaklı kesintiler nedeniyle oluştuğunu varsayıyoruz. Klasik sistemlerde alıcılar abildiği veya alamadığı paketler için geri besleme mesajları iletir ve iletilen paketler yeniden ileterek tamamlamaya gayret eder. Böyle bir protokol özellikle çok alıcılı ağlarda mesaj kalabalığı ve pek çok paketin tekrar tekrar iletilmesi gibi problemlere sebep olur. Oransız kodlar bu problemin çözülmesini sağlayan bazı özelliklere sahiptir. Alıcıların her pakete geri besleme göndermek yerine K adet orijinal paketi çözdükleri anda geri besleme göndermeleri yeterlidir ve sadece her alıcının belli sayıda paket alması önemlidir.

Oransız kodlarla çok adımlı iletim faydalı olduğu kadar zor bir problemdir. Çünkü bu sistemde "hangi düğümlerin iletim yapacağı, hangi sırayla iletim yapılacağı, kaç tane rasgele doğrusal kodlanmış paket iletecekleri ve ne kadar güç kullanacağı" gibi değişkenler vardır. Çalışmamızın konusu üç adımlı telsiz iletimde oransız kodların kullanımınıdır. Yukarıda belirttiğimiz problemlerin çözümünde iki aşama vardır. Bunlar, belli güçlerle iletim yapan düğümlerden belli sayıda oransız kodlanmış paketlerin geldiği durumda bir düğümün kod çözebilme olasılığının analizi ve üç adımlı iletimde kaynaktan alıcı veya alıcılara en iyi yolların bulunmasıdır.

Düğüm 1'den Düğüm 3'e, Düğüm 2'nin de yardımıyla her biri L bit uzunluğunda olan K adet paket gönderilecek olsun. $g_{1,2}, g_{1,3}$ ve $g_{2,3}$ düğümler arasındaki ortalama kanal kazançları olsun. Bu değerler sabit ve iletilen tarafından biliniyor kabul edilmektedir. $h_{1,2}, h_{1,3}$ ve $h_{2,3}$ de ortalaması 1 olan birbirinden bağımsız üssel dağılımlı rasgele değişkenler olsun ve düğümler arasındaki Rayleigh sönmülmesini ifade etsin. Bu değerler de her yeni paket iletiminde rasgele olarak değişmektedir. Bir adet kodlanmış paketin kanaldan iletildiği süre T_s uzunluğunda bir zaman dilimidir ve $h_{1,2}, h_{1,3}$ ve $h_{2,3}$ değerleri her zaman diliminde bağımsız ve rasgele olarak değişir. Bir kanaldan hatalı paket gönderilme olasılığı, kanaldaki sönmülmeyle bağlı kesinti olasılığı tarafından domine edilmiştir.

$$p_{i,j}^o = \exp\left(-\frac{N_0 W 2^{(\frac{L}{T_s W} - 1)}}{P_i g_{i,j}}\right), i \in \{1, 2, 3\}, j > i \quad (1)$$

Burada $N_0 W$ gürültü gücü ve P_i iletim gücüdür.

Toplamda N adet kodlanmış paket iletimi yapılınsın ($N \geq K$ olmalıdır). Eğer bunların n tanesi hatalı gitseydi bu durumda da $N - n \geq K$ olmalıdır, aksi halde kod çözülemez. Kod çözebilme olasılığı için bir alt sınır $(1 - 2^{-(N-n-K)})$ olarak bulunmuştur [3]. Şimdi N adet iletimin N_1 tanesinin Düğüm 1 ve N_2 tanesinin Düğüm 2 tarafından yapıldığını varsayalım. Düğüm 2'nin yaptığı iletimlerin işe yaraması için öncelikle Düğüm 1'den aldığı kodlanmış paketleri çözebilmesi gerekir. Yani $N_1 \geq K$ olmalıdır. 1-2, 1-3 ve 2-3 düğümleri arası hatalı paket sayıları sırasıyla $n_{1,2}, n_{1,3}$ ve $n_{2,3}$ olsun. $N_1 - n_{1,2} \geq K$ ve $N_1 - n_{1,3} + N_2 - n_{2,3} \geq K$ şartları sağlanmazsa kesinlikle başarısızlık olur. Bu şartı

sağlayan bir $n_{1,2}, n_{1,3}$ ve $n_{2,3}$ için ise başarı olasılığı alt sınır $(1 - 2^{-(N_1 - n_{1,2} - K)})(1 - 2^{-(N_1 - n_{1,3} + N_2 - n_{2,3} - K)})$ olur, yani hem röle hem de alıcının oransız kodlanmış paketleri başarılı bir şekilde çözme olasılığına eşittir. Yapacağımız benzetimlerde rasgele dönümlenme değerleri üretip $n_{1,2}, n_{1,3}$ ve $n_{2,3}$ değerlerine ulaşıyoruz. Bunu pek çok kez tekrarladıktan sonra ortalamasını alarak ortalama başarı olasılığını elde ediyoruz.

3. Benzetim Sonuçları

Bu bölümde aşağıdaki problemler için benzetim çalışması yapıldı.

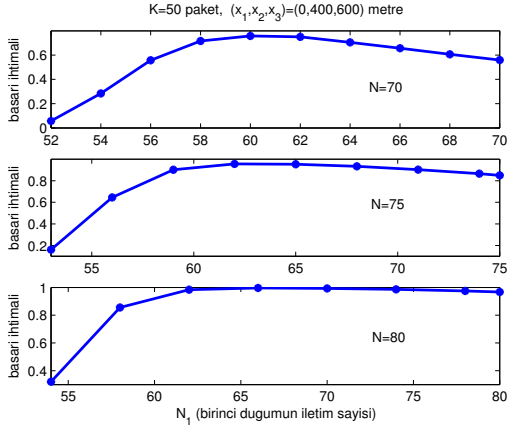
3.1. Problem1: Maksimum Başarı İhtimali

Bu durumda iletilenler $P = 10mW$ Watt sabit güç kullanırlar. Bir x-ekseni düşünürsek, Düğüm 1'i 0 noktasına, Düğüm 3'ü 600m noktasına ve Düğüm 2'yi de arada bir noktaya yerleştirelim. Paket uzunluğu $L = 1000$ ve zaman dilimi süresi 1 milisaniyedir. Bant genişliği $1MHz$ 'dir ve gürültü gücü spektral yoğunluğu $-214dBW/Hz$ 'dir. $K = 50$ adet paket oransız kodlanacak ve iletilecektir. Yol kaybı formülü $31.5 + 35 \log_{10}(d)$ dB'dir ve burada d metre cinsinden uzaklıktır. Şekil 1 de düğüm 400 metreye konmuştur. Grafikteki her nokta 5000 adet deney sonucunun ortalamasıdır. Toplam iletim sayılarının $N = 70, 75$ ve 80 olduğu durumlarda birinci düğümün N_1 iletim sayısını değiştirerek ortalama başarı olasılığının grafiğini çizdik. Düğüm 2 kaynağa uzak olduğu için kaynaktan daha çok paket alması gerekir. Aksi halde Düğüm 3'e faydalı olamaz. $N_1 = 52$ olduğunda yalnız 2 adet fazladan iletim olur ve bu çok yetersiz kalır (ki bunların da bir kısmı hatalı gitmiş olabilir). O nedenle N_1 az olduğunda başarı oranı sıfıra yakındır. N_1 'in artırılması başarı oranını çok olumlu etkiler. Yaklaşık $N_1 = (N + K)/2$ olduğunda en iyi başarıma ulaşıldığını görmekteyiz. $N_1 = N$ (yani $N_2 = 0$, direkt iletim) olduğunda ise röleden istifade edilmemiş olur. Fakat bu durumda başarıım hiç de kötü değildir, çünkü röle 400 metrededir ve kaynağa uzaktır, bu nedenle pek faydalı olamaz. Özellikle $N = 80$ olduğunda direkt iletim yapmak %99a yakın başarı sağlar.

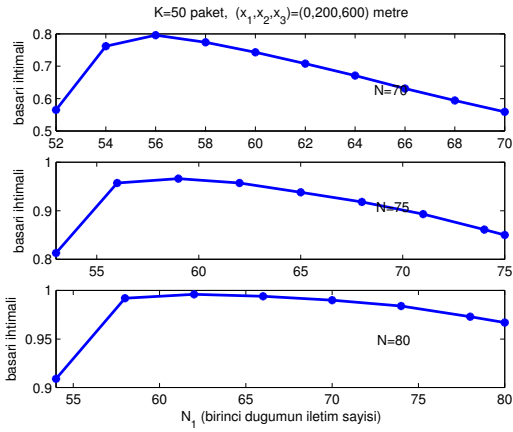
Şekil 2'de ise röle konumunu 200 metre yaptık. Bu durumda rölenin başarılı kod çözme şansı artar ve Düğüm 3'e faydalı olabilir. Bu sayede N_1 'in az olduğu durumda başarı olasılığının arttığını görüyoruz. Şekil 1 ve 2'deki maksimum başarı olasılıklarının pek farklı olmadığını görüyoruz. Ancak Şekil 2'de $N = 70$ olduğu durumda N_1 'i düzgün seçmenin başarımda direkt iletime göre %40'a varan bir artış sağladığını gözlemliyoruz.

3.2. Problem2: Minimum İletim Sayısı

Bu iş paketinde sabit güçle iletim yapan düğümler için en küçük sayıda kodlanmış paket iletimi ile belli bir başarı olasılığı hedefini tutturmak problemi incelenmiştir. Şekil 3'te N_2 'yi 10, 20 ve 30 gibi değerlere sabitleyip N_1 'i K 'dan $2K$ 'ya kadar artırarak başarı olasılığını inceledik. başarı olasılığı hedefimiz 0.93'ten küçük olduğunda $N_2 = 10$ 'un daha verimli olduğunu, daha az sayıda toplam iletimle bu hedefe ulaşıldığını görüyoruz. Daha büyük başarı olasılığı hedefleri için ise N_2 'yi artırmak (mesela $N_2 = 20$ yapmak) gerekmektedir.



Şekil 1: Toplam kodlanmış paket iletim sayısı (N) sabitken, birinci düğümün ilettiği kodlanmış paket sayısı (N_1) ile başarı olasılığı grafiği. 2. düğüm alıcıya daha yakın

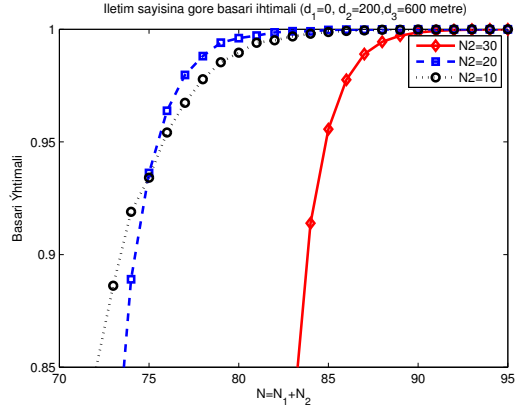


Şekil 2: Toplam kodlanmış paket iletim sayısı (N) sabitken, birinci düğümün ilettiği kodlanmış paket sayısı (N_1) ile başarı olasılığı grafiği. 2. düğüm kaynağa daha yakın

3.3. Problem3: Minimum Toplam Enerji

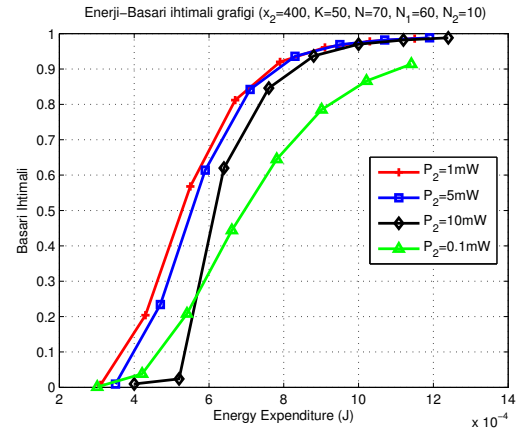
Bu problemde hedefe minimum toplam enerji ile ulaşılması konu edilmektedir. Bu durumda üç düğümlü örneğimizde N_1 ve N_2 bellidir. Yol ataması yapılmıştır ve sadece düğümlerin iletim güçleri belirlenecektir.

$N_1 = 60$ ve $N_2 = 10$ aldık. Şekil 4'te röleyi 400 metreye koyduk. Röle gücünün (P_2) dört farklı değeri ($0.1mW$, $1mW$, $5mW$ ve $10mW$) için P_1 'i $5 - 19mW$ arasında değiştirerek 4 adet eğri çizdirdik. Bu grafiklerde x eksen enerji ve şu şekilde hesaplanır: $T_s(P_1 N_1 + P_2 N_2)$. Bu senaryoda P_2 'nin fazla tutulması enerji açısından verimsizdir. P_2 'nin 5 veya $10mW$ değil de $1mW$ yapıлып, artan enerjinin P_1 'e aktarılması başarı olasılığını artırmıştır. Aynı şekilde belli bir başarı olasılığına en az enerji ile ulaşmak $P_2 = 1mW$ yapıldığında mümkün olmuştur. Fakat, P_2 'yi daha da azaltmak enerji verimliliğini azaltmıştır. $P_2 = 1mW$ ve $5mW$ değerlerinin enerji verimliliği açısından pek farklarının



Şekil 3: İletim gücü sabitken, toplam paket sayısı ($N_1 + N_2$) ile başarı olasılığı grafiği. 2. düğüm kaynağa daha yakın

olmadığı da söylenebilir.

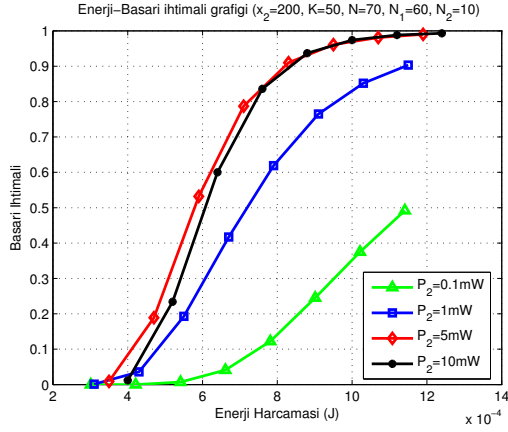


Şekil 4: Röle (Düğüm 2) alıcıya daha yakındır

Şekil 5'deki benzetimin Şekil 4'den tek farkı röle konumunun 200 metrede olmasıdır. Röle alıcıya uzak olduğundan daha çok güce ihtiyacı vardır. Bu nedenle bu durumda en enerji-verimli P_2 değeri $1mW$ değil $5mW$ olmuştur. Yalnız $P_2 = 5mW$ ve $10mW$ değerlerinin enerji verimliliği açısından pek farkları olmadığı söylenebilir. Sonuç olarak bu benzetimlerle iletim güçlerini dikkatli ayarlamının enerji verimliliğini artırdığını gördük.

3.4. İşbirlikli Çeşitleme ile Karşılaştırma

Bu bölümde, Problem1'deki başarı olasılığı daha önce önerilen işbirlikli çeşitleme teknikleri ile karşılaştırılacaktır. İki tür iletim şekli ele alındı, *çöz-ilet* ve *yükselt-ilet*. [9]'da önerilmiş olan bu iletim yöntemleri, işbirlikli çeşitlemenin en kolay elde edilebileceği yöntemlerden bazılarıdır. *Çöz İlet*'te Düğüm 2' Düğüm 1'den aldığı sinyali çözer ve tekrar kodlayarak bir sonraki zaman diliminde Düğüm 3'e iletir. Düğüm 3 ise Düğüm 1 ve 2'den iki ayrı zamanda aldığı sinyalleri birleştirir ve daha kaliteli bir sinyal elde eder. *Yükselt İlet*'te ise Düğüm 2, Düğüm 1'den aldığı sinyali güçlendirerek Düğüm 3'e iletir. Düğüm 3 yine birleştirme işlemi yapar. Burada sinyal



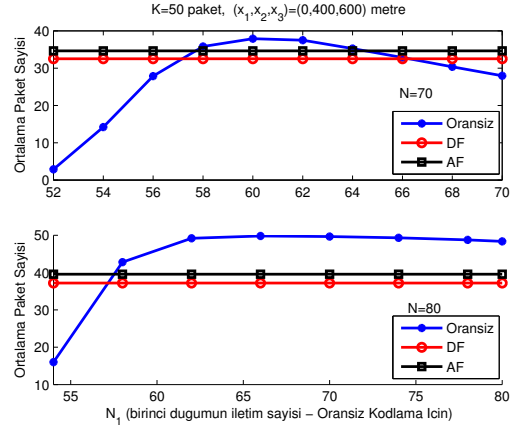
Şekil 5: Röle kaynağa daha yakındır

güçlendirilirken gürültü de güçlendirilir, ancak çözme işleminin yapılmaması Düğüm 2'den 3'e hatalı bilgi gönderimi olmasını sağlar ve özellikle röle kaynaktan uzakken bu yöntem işe yarar. Bu tekniklerin Shannon kapasitelerini yer darlığı nedeniyle ekleyemiyoruz.

Şekil 6'da Şekil 1 ile aynı parametreleri kullandık. Sadece oransız kodlama başarı olasılığını K ile çarparak iletilebilen ortalama paket sayısını bulduk. Üstteki grafik $N = 70$ için çizdirilmiştir. İşbirlikli haberleşmede ise tek zaman dilimlerinde Düğüm 1, çift zaman dilimlerinde Düğüm 2 olmak üzere toplam 70 kez iletim yapılmıştır. Bu işbirlikli tekniklerde en fazla $N/2 = 35$ farklı paket iletimi yapılabilir. Oransız kodlamada ise en fazla $K = 50$ farklı paket iletilebilir. Gördüğümüz gibi N_1 ayarlandığı (60 – 62) zaman oransız kodlama hem Yükselt İlet hem de Çöz İlet'ten daha iyi başarımlar göstermektedir. Aslında işbirlikli iletimin kesinti performansı çok iyidir, fakat bu yöntemin problemi her paket iki kere iletildiği için verimliliğini direkt olarak yarıya düşürmesidir. Oransız kodlamada ise her iletilen oransız kodlanmış paket önceki iletilenlerden farklıdır. $N = 70$ için oransız kodlama ile rölesiz ($N_1 = N$) iletim yapılırsa başarımlar işbirlikli iletimden kötü olmaktadır. Altta grafiğe ($N = 80$) baktığımızda oransız kodlamanın işbirlikli iletimden büyük ölçüde daha iyi olduğunu görüyoruz. Bu durumda işbirlikli iletimle en fazla 40 farklı paket iletilebilmektedir fakat oransız kodlama ile kodlanmış $K = 50$ paket büyük olasılıkla başarılı olarak iletir. Bu da %25'lik azımsanmayacak bir kazanç demektir. $N_1 = N = 80$ (yani direkt iletim) durumunda bile oransız kodlama işbirlikli iletimden daha iyi başarımlar sağlamaktadır.

4. Sonuçlar

Bu makalede telsiz ağlarda oransız kodlar kullanarak yol atama konusu üzerinde çalışılmıştır. Üç düğümlü bir sistemde çeşitli problemler için kaynak ve rölenin kodlanmış paket iletim sayıları, iletim güçleri ve başarı olasılığı arasındaki ilişki incelenmiştir. Son olarak oransız kodlar kullanan iletimle işbirlikli çeşitleme kullanan iletimin başarı olasılıkları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak da oransız kodların yükselt-ilet ve çöz-ilet'e göre direkt iletim durumunda bile daha iyi bir başarı sağladığı görülmüştür. Gelecekte, daha fazla düğümden



Şekil 6: İşbirlikli İletim ile Oransız Kodlamalı İletimin Karşılaştırılması

oluşan ağlar için yol atama algoritmaları üzerinde çalışılması planlanmaktadır.

5. Acknowledgement

This research is supported by, TÜBİTAK Career Award, Project No. 110E256

6. Kaynakça

- [1] Luby, M.: 'LT codes'. Proc. 43rd Ann. IEEE Symp. on Foundations of Computer Science, 16-19 November 2002, pp. 271-282.
- [2] A. Shokrollahi, "Raptor codes," in Proc. Int. Symp. on Information Theory, p. 36, 2004.
- [3] MacKay, D.J.C.; , "Fountain codes," Communications, IEE Proc.- , vol.152, no.6, pp. 1062- 1068, 9 Dec. 2005
- [4] Molisch, A.F.; Mehta, N.B.; Yedidia, J.S.; Jin Zhang; , "Performance of Fountain Codes in Collaborative Relay Networks," Wireless Communications, IEEE Trans. on , vol.6, no.11, pp.4108-4119, November 2007
- [5] T. Girici,A. Ephremides, "Joint Routing and Scheduling Metrics for Ad Hoc Wireless Networks", 36th Asilomar Conf. on Sig. Syst. and Comp., Nov. 2002
- [6] Wieselthier, J.E.; Nguyen, G.D.; Ephremides, A., "Algorithms for Energy-Efficient Multicasting in Static Ad Hoc Wireless Networks," Kluwer Academic Publishers, Mobile Networks and Applications, vol. , pp.251-263, 2001
- [7] Khandani, A.E.; Abounadi, J.; Modiano, E.; Lizhong Zheng, "Reliability and Route Diversity in Wireless Networks," Wireless Communications, IEEE Trans. on , vol.7, no.12, Dec. 2008
- [8] Maric, I.; Yates, R.D., "Cooperative Multihop Broadcast for Wireless Networks," Selected Areas in Communications, IEEE Journal on , vol.22, no.6, August 2004
- [9] Laneman, J.N.; Tse, D.N.C.; Wornell G.W. , "Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior," Information Theory, IEEE Transactions on , vol. 50, no. 12, Dec. 2004