

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TASARSIZ KAVRAMSAL RADYO AĞLARI İÇİN
ETKİN BİR TÜMEGÖNDERİM YÖNTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orçun ERTUĞRUL

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilgisayar Mühendisliği Programı

OCAK 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TASARSIZ KAVRAMSAL RADYO AĞLARI İÇİN
YENİ BİR TÜMEGÖNDERİM YÖNTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Orçun ERTUĞRUL
(504071529)**

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilgisayar Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Feza BUZLUCA

OCAK 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504071529 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Orçun ERTUĞRUL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TASARSIZ KAVRAMSAL RADYO AĞLARI İÇİN ETKİN BİR TÜMEGÖNDERİM YÖNTEMİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Feza BUZLUCA**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Sema OKTUĞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İbrahim ALTUNBAŞ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **16 Aralık 2011**
Savunma Tarihi : **22 Ocak 2012**

Aileme,

ÖNSÖZ

Öncelikle lisans eğitimim boyunca olan katkılarından dolayı ve yüksek lisans tez çalışmam sırasında fikirleriyle çalışmama yön veren değerli hocam ve tez danışmanın Yrd. Doç. Dr. Feza Buzluca'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Eğitim hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen sevgili aileme teşekkürü borç bilirim.

Aralık 2011

Orçun Ertuğrul
(Bilgisayar Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	ixi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	2
1.3 Hipotez	3
2. KAVRAMSAL RADYO	5
2.1 Kavram Radyo Özellikleri	5
2.2 Tasarsız Ağlarda Kavramsal Radyo Kullanılması	6
2.3 Kontrol Kanalı	7
2.4 Tasarsız Kavramsal Radyo Ağlarında Tümegönderim	7
3. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR	9
3.1 Geleneksel Ağlarda Tümegönderim.....	9
3.1.1 Temel tümegönderim yöntemleri.....	9
3.1.2 Savaş tabanlı tümegönderim yönteminin seçilmesi.....	12
3.2 Kavramsal Radyo Tasarsız Ağlarda Tümegönderim	12
3.2.1 Seçmeli tümegönderim çalışması.....	13
3.2.2 Minimum zamanda tümegönderim çalışması	14
3.3 Kanal Seçme Çalışmaları	16
4. ÖNERİLEN YÖNTEM: PA_RfM.....	19
4.1 Kullanılan Mesajlar	19
4.2 Algoritmanın İşleyişi.....	20
4.3 Düğüm Durum Diyagramı	234
5. SİMÜLASYON SONUÇLARI.....	25
5.1 Simülasyon Ortamı.....	26
5.2 Simülasyon Sonuçları.....	27
5.2.1 Erişebilirlik.....	27
5.2.2 Maliyet	29
5.2.3 Yayılma süresi.....	31
6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME.....	323
KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ.....	39

KISALTMALAR

CR	: Kavramsal Radyo (Cognitive Radio)
CRAHNs	: Tasarsız Kavramsal Radyo Ağları (Cognitive Radio Ad Hoc Networks)
PU_s	: Birincil Kullanıcılar (Primary Users)
SU_s	: İkincil Kullanıcılar (Secondary Users)
CC	: Kontrol Kanalı (Control Channel)
CCC	: Ortak Kontrol Kanalı (Common Control Channel)
AODV	: Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing
DSR	: Dynamic Source Routing
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers
QoS	: Servis Kalitesi (Quality of Service)
TDMA	: Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access)
RES	: Rastgele Erteleme Süresi
SKL	: Seçilmiş kanallar listesi
ILP	: Doğrusal Programlama (Integer Linear Programming)
POMDP	: Partially Observable Markov Decision Process
PA_RfM	: Birincil Kullanıcı Farkında, İstekte Bulunma (Primary Aware, Request for Message)
RfMwC	: Sayaç Tabanlı İstekte Bulunma (Request for Message with Counter)
RfM	: İstekte Bulunma (Request for Message)
CtC	: Kanala Çağırma (Call to Channel)
SD	: Doğrudan Gönderim (Send Directly)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Simülasyonda kullanılan algoritmalar.....	25
---	----

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Sayaç tabanlı uygulama için örnek bir topoloji.....	11
Şekil 3.2 : Minimum sayıda kanal seçme algoritmasının işleyişi.....	14
Şekil 3.3 : Minimum sayıda kanal seçme algoritmasının hatalı işleyişi.....	14
Şekil 4.1 : Düğümün mesajları alması	21
Şekil 4.2 : SendRequest zamanlayıcısı	22
Şekil 4.3 : SendBroadcast zamanlayıcısı	23
Şekil 4.4 : Düğüm durum diyagramı	24
Şekil 5.1 : Erişebilirlik (düşük yoğunluklu ağda).....	28
Şekil 5.2 : Erişebilirlik (yüksek yoğunluklu ağda)	28
Şekil 5.3 : Maliyet (düşük yoğunluklu ağda)	30
Şekil 5.4 : Maliyet (yüksek yoğunluklu ağda).....	30
Şekil 5.5 : Toplam maliyet.....	31
Şekil 5.6 : Yayılma Süresi (düşük yoğunluklu ağda)	32
Şekil 5.7 : Yayılma süresi (yüksek yoğunluklu ağda)	32

TASARSIZ KAVRAMSAL RADYO AĞLARI İÇİN YENİ BİR TÜMEGÖNDERİM YÖNTEMİ

ÖZET

Mobil teknolojilerin gelişmesiyle ve iletişim ihtiyaçlarının artmasıyla birlikte taşınabilir cihazların kullanımında büyük artış oldu. Taşınabilir cihazların iletişim ihtiyaçlarının karşılanması için doğal olarak telsiz iletişim teknolojilerinin kullanımı yaygınlaştı. Hali hazırda telsiz iletişimi için kullanılan radyo frekansları belirli kurumlara veya belirli işlere rezerve edilmiş durumdadır. Telsiz iletişim teknolojileri yaygınlaşmadan önce birçok frekans aralığının ataması çoktan yapılmıştır. Dolayısıyla gelişen teknolojiler için yeteri kadar frekans aralığı kalmamıştır ve ataması yapılan frekanslar ise verimli bir şekilde kullanılamamaktadır.

Yeni kullanım için frekans aralığının olmaması, atanan frekansların verimli bir şekilde kullanılmaması kavramsal radyo kavramının doğmamasına sebep olmuştur. Kavramsal radyolar çalıştıkları frekansı değiştirerek radyo kanallarını dinamik olarak kullanma yeteneğine sahiptirler. Yalnız kanalları kullanırken kanalların sahibi lisanslı kullanıcılara verdikleri zararı belirli bir seviyede tutmaları gerekmektedir. Buna göre kavramsal radyolar kanal boş olduğu sürece o kanalı kullanabilirler, kanalın lisanslı sahibi geldiğinde kullanmak için başka boş bir kanala geçerler. Kanalın lisanslı kullanıcılarına birincil kullanıcı, lisansız olarak kanal boşken kullanan kullanıcılara ise ikincil kullanıcı denir.

Kavramsal radyolar normal radyoların kullanıldığı bütün alanlarda kullanılabilirler. Bunlardan bir tanesi de tasarsız ağlardır. Geleneksel tasarsız ağlarda tüme gönderim yöntemi hakkında hali hazırda birçok çalışma bulunmaktadır. Kavramsal radyoların geleneksel radyolara göre çeşitli zorlukları olduğundan tümegönderim yöntemi de geleneksel tasarsız ağlardan farklı olmalıdır. Kavramsal radyoların birbirleriyle haberleşmeleri için boş bir kanal bulmaları ve bu kanalda buluşmaları gerekmektedir. Ayrıca birincil kullanıcılar kavramsal radyoların iletişimine zarar vermektedirler. Bu tür zorluklardan dolayı tümegönderilen mesajın bütün düğümlere ulaşma başarısı düşmektedir. Tümegönderim işleminin birincil önceliği bütün düğümlere iletilmesi istenen mesajın ulaştırılmasıdır. Bundan dolayı çalışmamızda öncelikle bütün düğümlere ulaşmayı hedefledik. Bu hedefin yanında yaratılan tümegönderim maliyetinin düşürülmesi, bütün düğümlere yayılma zamanının azaltılması hedeflendi.

Kavramsal radyo tasarsız ağlarında tümegönderim işlemi hakkında literatürde iki tane çalışma vardır. Çalışmalarda düğümler birbirlerine bir kanal setinden bağlıdır ve ortak bir kontrol kanalı bulunmamaktadır. Çalışmaların ilkinde bir düğüm, tümegönderim mesajını komşularına erişebildiği en düşük kanal seti üzerinden komşularına göndermektedir. Birkaç kanal üzerinden gönderim yapıldığından maliyet ve mesajın yayılma süresi artmaktadır. Ayrıca kanal değiştirme süresi, birincil kullanıcıların iletimlere zarar vermesi hesaba katılmamıştır. İletilmek istenen mesajın bütün düğümlere ulaşıp ulaşmadığı incelenmemiştir. Yapılan diğer çalışmada tümegönderim mesajının en kısa sürede ağa yayılması incelenmiştir. Bu çalışmada düğümlerin kullanabileceği bir algoritma önerilmemiştir; çünkü algoritmanın çalışabilmesi için her düğümün topolojiyi ve diğer düğümlerin hangi

gönderimleri yaptıklarını bilmeleri gerekir. Önerilen ilk yöntemdeki problemler bu çalışmada da devam etmektedir.

Çalışmamızda önerilen yöntemin uygulanabilmesi için her bir düğümde iki radyo modülü bulunmalıdır. Radyolardan bir tanesi kontrol kanalına atanmalı, diğer radyo modülü ise veri iletişimine ayrılmalıdır. Önerilen yöntem hem kontrol kanalını hem de veri kanalını kullanmaktadır. Yukarıda belirttiğimiz tümegönderim amaçlarına ulaşmak için dört farklı özellik içeren bir yöntem önerdik. Bu özelliklerden ilki gönderim yapmak isteyen düğümün komşularını kontrol kanalı üzerinden boş bir kanala çağırmasıdır. Kanal değiştirme işlemi yapıldıktan sonra düğüm mesajı veri kanalından iletir. İkinci olarak sayaç tabanlı tümegönderim yönteminden yararlanılmıştır. Eğer bir düğüm bir mesajı ne kadar çok kere almışsa, o mesajı iletmesiyle yeni kapsayacağı düğüm sayısı o kadar azdır. Bu bilgiden yola çıkarak bir düğümün ileteceği mesaja sahip olan komşularının sayısı, önceden belirlenen eşik değerin üzerinde ise o mesajı düğüm iletmez. Bu mesaj yerine iletme maliyeti çok daha düşük bir kontrol paketi ile komşularını mesaja sahip olduğu hakkında bilgilendirir. Kullanılan bir diğer yöntem ise tümegönderilen mesajı alamayan ve mesajdan haberdar düğümün alamadığı mesajı komşusundan istemesidir. Bir düğüm tümegönderim mesajını almak üzere kanal değiştirip mesajı almayı beklerken çakışmalardan dolayı mesajı alamayabilir veya komşusundan mesajın varlığına dair bir kontrol mesajı almış olabilir. Düğüm öncelikle mesajın diğer komşularından gelmesini belirli bir süre bekler. Eğer mesajı bu süre içinde alamazsa mesaja sahip olduğunu bildiği bir komşusundan mesajı ister. Kullanılan son yöntem ise birincil kullanıcı farkındalığıdır. Boş kanallardan bazıları diğerlerine göre daha iyidir. Birincil kullanıcıların istatistiksel bilgilerinin kullanılmasıyla daha iyi kanalları seçebilmektedir. Böylelikle birincil kullanıcıların iletişime zarar verme ihtimalleri düşürülmektedir.

Yukarıda önerdiğimiz yöntemi simülasyon ortamında test ettik. Simülasyon sonuçları hedeflediğimiz gibi düğümlere ulaşmada %100'e çok yakın başarı sağlandığını gösterdi. Düğümlerin hepsine ulaşmanın yanında maliyette azalma, mesajın ağa yayılma süresinde azalma sağlandı.

AN EFFICIENT BROADCASTING SCHEME FOR COGNITIVE RADIO AD HOC NETWORKS

SUMMARY

Rapid development in wireless technologies and demand on being mobile makes big progress in wireless devices. These mobile devices naturally use wireless communication technologies and need empty spectrums to communicate. In current spectrum management design, spectrums are licensed for a specified job or to a specific organization. There are not sufficient spectrum bands for new communication needs. In addition, the assigned spectrums are not utilized most of time. As a result, there is spectrum scarcity problem in wireless world while some of spectrums are underutilized. Cognitive radio (CR) is the most promising technology to overcome these problems. Because of this spectrum scarcity, cognitive radio ad hoc networks (CRAHNs) will take place of conventional ad hoc networks.

Cognitive radios can change their transmitter parameters automatically and utilize idle channels dynamically. While unlicensed users (secondary users) are using licensed channels, secondary users should keep damage to licensed users (primary users (PUs)) under a predefined threshold level. According to these, cognitive radio must sense idle channels, can change its transmitter parameters and must sense any collisions between PUs.

Broadcasting which means distributing a message from one source node to all nodes in the network is a fundamental operation for ad hoc networks. For example, dissemination of control messages is necessary for path establishment in most ad hoc routing protocols. However, broadcasting is not limited with control messages; broadcasting of alarm signals, code update messages, sensor messages, updating and initializing topology messages are extra necessities. Broadcasting of alarm signals are frequently used in vehicular ad hoc networks. Furthermore, in a disaster or military area, there will be many messages must be broadcasted that may contain large files as pictures, maps or list of something like people or tools. Broadcasting can be also an option when the multicasting is not supported in a network.

Broadcasting in CRAHNs has extra challenges than conventional ad hoc networks. As CRs change their transmission channel to occupy idle spaces in the spectrums, rendezvousing of CRs in the same channel must be ensured to broadcast a message in CRAHNs. Furthermore, primary user activities can damage transmission between CRs, which prevent dissemination of broadcast messages in the network and decreases reachability of message. In our study, we offer an algorithm for broadcasting in CRAHNs that maximizes reachability of message, reduces redundancy and propagation delay.

In most of CRAHNs, there is a control channel (CC), which can be considered to disseminate messages. However, dissemination of all broadcast messages over the common control channel (CCC) will cause congestion in this channel. Such a bottleneck in the CC cannot be tolerated as it will block all communication, because

control messages for connection establishment and spectrum management are all transmitted over that channel.

To the best of our knowledge in the literature, there are two studies on broadcasting at cognitive radio ad hoc networks. In the proposed systems two neighbor nodes are connected over a channel subset of all channel set. A node selects a group of channels that access all its neighbors in order to send the broadcast message. Sending message from several channels increases dramatically the cost and the time of dissemination of the broadcast message in the all network. The proposed systems have also no CC, although most of CRAHNs have. The studies do not consider the cost of gathering several nodes in the same channel without CC. In addition, the time cost of channel changing is not taken into account. PUs' affects are also ignored, reachability of the broadcast message is not mentioned.

In our system, a cognitive node has two radio modules. One radio module is dedicated to control channel and the other one is used for data transmission. We can divide our proposed algorithm into four main properties. Firstly, a node that has a broadcast message must gather its neighbors in the same channel by sending a control packet which is sent over control channel. Secondly, the algorithm uses a counter based mechanism to avoid transmission of unnecessary broadcasting messages. When a node's most of neighbors already have the broadcast message, the number of new covered nodes by its rebroadcast reduces. So that when a node is informed that its most of neighbors have the message, it only sends a tiny control message over control channel to inform its neighbors that it has the message. Thirdly, algorithm gives the opportunity to nodes to request an expected broadcast message if this message is lost. The last property is primary user awareness. CRs can select better channel according to PUs statistical information. This increases successful transmission rate.

The proposed algorithm will be explained briefly in this paragraph. When a source node has a broadcast message with the identifier of MSG_{id} ($BroadCasMsg(MSG_{id})$) that must be disseminated throughout the network; it calls its neighbors to a proper licensed data channel (Ch_i) that is used by PUs rarely. It sends the control message $CallToChannel(Ch_i, MSG_{id})$ over the CC and changes its channel to Ch_i . Then the broadcast message is transmitted over the selected channel. A received node of the broadcast message waits until random access delay passes instead of retransmitting the broadcast message immediately. When a relay node is notified for the first time about existence of a broadcast message (MSG_{id}) by a neighbor, it assigns a counter to this broadcast message ($counter(MSG_{id})$) and increments this counter each time when it receives other notifications about the same message. If the value of the $counter(MSG_{id})$ does not exceed a predefined threshold (T) value at the end of random access delay, the relay node calls its neighbors to a proper licensed data by sending the control message $CallToChannel(Ch, MSG_{id})$ over the CC. If the threshold value of the $counter$ is exceeded, the node does not retransmit the message to avoid redundant transfers, instead it only informs its neighbors that it has the broadcast message by sending the control message $HaveMsg(MSG_{id})$ over the CC. When a node does not receive the broadcast message after it has been informed by $CallToChannel$ or $HaveMsg$ packets, it requests this broadcast message by sending the control message $ReqForMsg(MSG_{id})$ to the node which informed it lastly. The PA_RfM strategy uses also three timers as explained below.

QuitBusyState timer is set by a node to give up waiting for a broadcast message in the invited channel infinitely. When a node receives a *CallToChannel*(Ch, MSG_{id}) message it switches to the invited channel Ch , starts to wait for the broadcast message MSG_{id} and sets its *busy* flag true. While the *busy* flag is true the node ignores other *CallToChannel* invitations. In order to avoid waiting forever in the busy state, the node starts the *QuitBusyState* timer with the value $(t_{cc} + t_b + t_d)$ after receiving *CallToChannel* message. t_{cc} is the channel handover duration, t_b is the transmission time of the broadcasting message and t_d is the maximum duration that can be occur due to propagation and computational delays. When this timer expires, the node sets busy flag to false and now it can accept other *CallToChannel* invitations.

SendRequest timer is set in order to request an expected broadcast message if it has not been received before. After a *CallToChannel* message, in normal case, a broadcast message should arrive. If not, the *SendRequest* timer expires and the node requests the message from the source node. The other case in which a broadcast message is requested is the arrival of the *HaveMsg*. In this case, if a node has not received the broadcast message yet, starts the *SendRequest* timer. If the broadcast message does not arrive from another source, the timer expires and the message is requested from the sender of the *HaveMsg*. The timer is set to $(t_{cc} + t_b + t_d + rand(t_{max}))$, where $rand(t_{max})$ is added to avoid collisions among requester nodes. A node may not receive broadcast message after its first request; because the target node of request can be busy, request message or broadcast message may be lost. Thus a back off mechanism is used to request the message several times. After the first expiration of the timer using the back of mechanism its value is set to $(rand(CWreq) * t_c)$. Here, $CWreq$ is the parameter of the back off algorithm and t_c is the transmission time of the control messages. The initial value of $CWreq$ is $CWreqMin$ and its value is multiplied by 2 each time the timer expires. If the value of $CWreq$ reaches $CWreqMax$ the node gives up requesting the broadcast message.

SendBroadcastMsg timer is used to apply RAD mechanism to reduce redundant message transfers. After a node receives a broadcast message for the first time, the timer is set to $\lceil rand(t) \rceil_{max}$. When the *SendBroadcastMsg* timer expires; if the counter of the broadcast message exceeds a predefined threshold number, the node cancels the rebroadcasting of this message and sends *HaveMsg*(MSG_{id}), otherwise it rebroadcasts the message.

To evaluate the performance of the proposed scheme, simulation scenarios in different topologies under different PU activities are performed. The result shows that the mechanisms included in the proposed protocol increase the reachability of the messages up to 100%, reduce the overhead in the network and the dissemination time.

In CRAHNs, difficulties in rendezvous on the same channel and collision with PUs decrease transmission success that affects reachability of broadcasting directly. In this study we propose a new PU aware and request based broadcasting algorithm for cognitive radio ad hoc networks. Simulation results supports that the proposed scheme increases the reachability of the strategy up to 100%, while it reduces the message overhead and delay of broadcasting.

1. GİRİŞ

Mobil teknolojilerin gelişmesiyle ve iletişim ihtiyaçlarının artmasıyla birlikte taşınabilir cihazlarda büyük teknolojik ilerlemeler meydana geldi. Taşınabilir cihazların iletişim ihtiyaçlarının karşılanması için doğal olarak telsiz iletişim teknolojilerinin kullanımı yaygınlaştı. Hali hazırda telsiz iletişimde fiziksel katmanı oluşturan radyo frekansları belirli kurumlara veya belirli işlere rezerve edilmiştir. Yalnız gelişen teknolojilerle gelen yeni ihtiyaçlar için yeteri kadar frekans aralığı yoktur ve ataması yapılan frekanslar verimli bir şekilde kullanılamamaktadır.

Yeni kullanımlar için frekans aralığının olmaması ve atanan frekansların verimli bir şekilde kullanılmaması kavramsal radyo kavramının doğmasına sebep olmuştur. Kavramsal radyolar çalıştıkları frekansı değiştirerek radyo kanallarını dinamik olarak kullanma yeteneğine sahiptirler. Yalnız kanalları kullanırken kanalların sahibi lisanslı kullanıcılara verdikleri zararı belirli bir seviyede tutmaları gerekmektedir. Buna göre kavramsal radyolar kanal boş olduğu sürece o kanalı kullanabilirler, kanalın lisanslı sahibi geldiğinde başka boş bir kanala geçmeleri gerekmektedir. Kanalın lisanslı kullanıcılarına birincil kullanıcı, lisansız olarak kanal boşken kullanan kullanıcılara ise ikincil kullanıcı denir.

1.1 Tezin Amacı

Kavramsal radyolar normal radyoların kullanıldığı bütün alanlarda kullanılabilirler. Bunlardan bir tanesi de tasarsız ağlardır. Tümegönderim işlemi ise tasarsız ağlarda sıklıkla kullanılan önemli bir işlemdir. Tümegönderim işleminde bir düğümün yaydığı mesajın bütün düğümlere ulaştırılması hedeflenmektedir.

Tümegönderim işlemi tasarsız ağlardaki temel işlevlerden biridir. AODV [6] ve DSR [7] gibi birçok yol kurma algoritmasında kontrol mesajlarının bütün düğümlere ulaştırılması için kullanılır. Tümegönderimi istenecek mesajlar sadece kontrol mesajları ile sınırlı değildir; alarm mesajları, yazılım güncelleme paketleri, sensör mesajları, topoloji kurmaya ve güncellemeye yarayan paketler tümegönderilmek

istenebilir. Tasarsız ağların kullanım alanları özellikle düzenli bir altyapının olmadığı afet veya savaş bölgesi gibi alanlardır. Bu tür alanlarda bütün birimlerin bilmesi gereken alarm mesajları olabilir. Örneğin düşmanın yerini tespit eden birimin, düşmanın konumunu, fotoğrafını ve bilgilerini diğer birimlerle paylaşması gerekebilir. Ayrıca fotoğraflı arama emirleri, harita, insan veya alet listesi gibi birçok mesaj olabilir. Kavramsal radyo ağlarında bu ihtiyaçlardan farklı olarak bir düğüm biriktirdiği bulunduğu ortam ile ilgili bilgileri diğer düğümlerle paylaşabilir. Ağ tarafından çoğa gönderim desteklenmediğinde de tümegönderim kullanılabilir.

Tümegönderim mesajlarının kontrol kanalı kullanılan sistemlerde kontrol kanalı üzerinden iletilebileceği düşünülebilir. Kontrol kanalı yukarıda bahsedilen türdeki mesajların tümegönderilmesinde kullanılırsa kontrol kanalında tıkanıklığa sebep olunabilir. Ayrıca kontrol kanalındaki tıkanıklık bütün veri iletişimini engelleyeceğinden tıkanıklığa tahammül edilemez. Aynı zamanda kontrol kanalından iletilebilecek mesaj büyüklüğü düğümlerin kötüye kullanımını engellemek amacıyla standartlarla sınırlandırılmış olabilir. Ayrıca kontrol kanalının bant genişliği tümegönderilecek verinin iletimi için düşük kalabilir.

Geleneksel tasarsız ağlarda tüme gönderim yöntemleri hakkında hali hazırda birçok çalışma bulunmaktadır. Kavramsal radyoların geleneksel radyolara göre çeşitli zorlukları olduğundan tümegönderim yöntemi de geleneksel tasarsız ağlardan farklı olmalıdır. Kavramsal radyoların birbirleriyle haberleşmeleri için boş bir kanal bulmaları ve bu kanalda buluşmaları gerekmektedir. Ayrıca birincil kullanıcılar kavramsal radyoların iletişimine zarar vermektedirler. Kavramsal radyoların aynı kanalda buluşma zorluklarından, birincil kullanıcıların iletişime zarar vermesinden dolayı tümegönderilen mesajın bütün düğümlere ulaşma başarısı düşmektedir. Tümegönderim işleminin birincil önceliği bütün düğümlere iletmek istenen mesajın ulaştırılmasıdır. Bundan dolayı çalışmamızda öncelikle bütün düğümlere ulaşmayı hedefledik. Bu hedefin yanında tümegönderim maliyetinin düşürülmesi, bütün düğümlere yayılma zamanının azaltılması hedeflendi.

1.2 Literatür Araştırması

Tasarsız kavramsal radyo ağlarda tümegönderim yöntemi üzerine literatürde iki tane çalışma vardır. Bu çalışmalarda bir düğüm, iletilmesi gereken mesajı komşularına erişebildiği kanallar üzerinden komşularına göndermektedir. Birkaç kanal üzerinden

gönderim yapıldığından maliyet ve gecikme artmaktadır. Ayrıca kanal değiştirme süresi, birincil kullanıcıların kavramsal radyoların iletimlerine zarar vermesi hesaba katılmamıştır. İletilmek istenen mesajın bütün düğümlere ulaşip ulaşmadığı incelenmemiştir.

1.3 Hipotez

Önerdiğimiz yöntemin uygulanabilmesi için her bir düğümden iki radyo modülü bulunması gerekmektedir. Radyolardan bir tanesi kontrol kanalına atanmalı, diğer radyo modülü ise veri iletişimine ayrılmalıdır.

Önerdiğimiz yöntemi dört ana özellik altında toplayabiliriz. Bunlardan ilki gönderim yapmak isteyen düğümün komşularını kontrol kanalı üzerinden boş bir kanala çağırmasıdır. Kanal değiştirme işlemi yapıldıktan sonra düğüm mesajı veri kanalından iletir. İkinci olarak sayaç tabanlı yöntemden yararlanıldı. Eğer bir düğüm bir mesajı ne kadar çok kere almışsa, o mesajı iletmesiyle yeni kapsayacağı düğüm sayısı o kadar azdır. Buna göre bir düğümün ileteceği mesaja sahip olan komşu sayısı önceden belirlenen eşik değerin üzerinde ise o mesajı iletmez. Bu mesaj yerine iletme maliyeti çok daha düşük bir kontrol paketi ile komşularını mesaja sahip olduğu hakkında kontrol kanalı üzerinden bilgilendirir. Kullanılan bir diğer yöntem ise tümegönderilen mesajı alamayan ve mesajdan haberdar düğümün alamadığı mesajı komşudan istemesidir. Bir düğüm bir mesajı almak üzere kanal değiştirip mesajı almayı beklerken çakışmalardan dolayı mesajı alamayabilir veya bir düğüm sadece komşusundan mesajın varlığına dair bir kontrol mesajı almış olabilir. Düğüm mesajın diğer komşulardan gelmesini belirli bir süre bekler. Eğer mesajı bu süre içinde alamazsa mesaja sahip olduğunu bildiği bir komşusundan mesajı ister. Kullanılan son yöntem ise birincil kullanıcı farkındalığıdır. Boş kanallardan bazıları diğerlerine göre daha iyidir. Birincil kullanıcıların istatistiksel bilgilerinin kullanılmasıyla daha iyi kanallar seçilebilmektedir. Böylelikle birincil kullanıcıların iletişime zarar verme ihtimalleri düşürülmektedir.

2. KAVRAMSAL RADYO

Kavramsal radyo (CR), kullanıcının ihtiyaçlarına göre otomatik olarak çalıştığı kanalı değiştirebilen, geçtiği kanalın modülasyon ve kodlama tekniğini uygulayarak o kanala uyum sağlayabilen radyo tipidir. Kavramsal radyo kavramı ilk olarak 1999 yılında J. Mitola III tarafından önerilmiştir [1]. CR kavramı yazılım tabanlı radyo kavramından evrimleşmiştir. Yazılım tabanlı radyoda daha önce mixer, filter, amplifikör, modulators/demodulators, detectors gibi donanım olarak kullanılan bileşenlerin yerini yazılımla konfigüre edilen bileşenler almıştır. Böylelikle radyo kanalı değiştirebilmektedir. Yalnız yazılım tabanlı radyo kavramında, radyoların hepsi birincil kullanıcıdır, bazı frekans kullanıcıların önceliği yoktur. Aynı zamanda yazılım tabanlı radyoların kavrama becerileri yoktur. Aktif frekans dolu olduğunda başka frekansa geçme veya daha iyi boş frekanslar seçme gibi karar verme yetisi gerektiren işlemleri yapamazlar.

CR kavramı Mitola tarafından önerildikten sonra üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Bazı araştırmalarda frekans haritaları çıkartılarak frekansların ne kadar verimsiz kullanıldığı gösterilmiştir. [2]'de belirtildiğine göre Şikago ve New York gibi nüfus yoğunluğu yüksek şehirlerde bile frekansların kullanılma oranları sırası ile %17.4 ve %13.1'dir. Bazı frekanslar %1'in altında kullanılma oranına sahipken bazı frekanslar %75'in üzerinde kullanım oranına sahiptir. Bu tür araştırmalar Amerika Federal İletişim Komisyonunu yeni spektrum erişim politika çalışmaları konusunda tetikledi [3]. IEEE 802.22 grubu ise Haziran 2011'de boş televizyon kanallarında çalışan kavramsal telsiz bölgesel ağ standardını yayınladı [4]. Böylelikle kavramsal radyonun ilk uygulamalarını gerçekleştirmenin yolu açılmış oldu.

2.1 Kavram Radyo Özellikleri

Kavramsal radyoların işlevlerini yerine getirmeleri için barındırmaları gereken birkaç özellik vardır. Öncelikle bir CR spektrum sezebilmelidir. Böylelikle iletişim yapabileceği boş spektrumları bulabilir. İletimi sırasında spektrum sezerek, birincil kullanıcıları fark edebilir, birincil kullanıcıların iletişimine zarar vermekten kaçınır.

Bazı tasarsız ağlarda düğümler sezdiklerini spektrum bilgilerini birbirleriyle paylaşarak daha kesin bir sezme yapmaya çalışırlar. Kavramsal radyolarda olması gereken ikinci bir özellik ise kullanacağı spektruma karar verebilme özelliğidir. Boş spektrumların hepsi aynı özellikte değildir, düğümler QoS ihtiyaçlarına göre en uygun spektrumu seçebilmelidirler. Aynı zamanda birincil kullanıcıların spektrumları kullanma alışkanlıklarına göre CR uygun spektrumu seçebilir. Spektrum seçme işlemi sadece gönderme işlemi yapan düğüme bağlı değildir, eğer bir iletim yolu üzerindeki düğüm spektruma karar veriyorsa iletim yolunun çıkarlarını da göz önünde bulundurmalıdır. Örneğin iki düğüm arasında bir iletim varsa, iki düğümün birlikte spektruma karar vermesi iletimin başarısını yükseltir. Kavramsal radyonun sağlaması gereken bir diğer özellik spektrum paylaşabilmedir. Kavramsal radyolar boş spektrumu kendi aralarında hakkaniyetli bir biçimde paylaşabilmelidirler. Diğer bir özellik ise hızlı bir şekilde spektrum değiştirebilme özelliğidir. CR iletim yaptığı sırasında spektrumda birincil kullanıcıya rastladığında birincil kullanıcının iletişimine zarar vermemek ve kendi iletimine devam edebilmek için spektrum değiştirebilmelidir.

2.2 Tasarsız Ağlarda Kavramsal Radyo Kullanılması

Kavramsal radyo ağları ağ mimarisine göre yapısal ağlar ve tasarsız ağlar olarak ikiye ayrılabilirler [5].Yapısal ağlarda belirli bir grup düğümü yöneten bir ana istasyon veya belirli bir grup düğüm için tanımlanmış bir erişim noktası olabilir. Yalnız tasarsız ağlarda böyle yapısal birimler bulunmaz; bir düğümün başka bir düğümle haberleşebilmesi için diğer düğümler üzerinden verinin iletilmesi gerekmektedir.

Tasarsız kavramsal radyo ağları (CRAHNs) geleneksel tasarsız ağlardan kavramsal radyoların frekans değiştirmesi ve lisansı kullanıcıların korunması gerekliliği ile ayrılmaktadır. Tasarsız ağlarda kavramsal radyoların bulunabileceği frekanslar farklı olabilmektedir. Her bir düğüm çevresindeki lisanslı kullanıcıların durumuna ve frekansları kullanımına göre frekans kullanımını farklılaştırmaktadır. Geleneksel tasarsız ağlarda ise düğümler önceden belirlenmiş frekanslarda çalışırlar ve zamanla değişmezler. Çok kanallı tasarsız ağlarda ise bütün kanallar iletim için uygundur, birincil kullanıcı kavramı yoktur.

2.3 Kontrol Kanalı

Kontrol kanalı (CC) veri kanalından farklı olarak kavramsal radyoların işleyişlerinin devamını sağlayan veya işleyişini kolaylaştıran verilerin iletimi için kullanılır. CC üzerinden radyolar koordinasyonu sağlayabilirler, bir spektrumda buluşmalarını kolaylaştırabilirler. Radyolar CC üzerinden ortamdaki spektrum kullanımı hakkındaki bilgileri paylaşarak daha geniş alan hakkında bilgi sahibi olurlar. Ağa yeni katılmış bir düğüm de bu paylaşım ile ortam hakkında daha çabuk bilgi sahibi olabilir.

CC kullanımında iki farklı yaklaşım vardır. Bir tanesi radyonun veri iletimini yaptığı frekans üzerinde çalışan, bant içi kullanım diye isimlendirilen kullanımdır. Bu kullanımda kontrol paketleri ve veri paketleri aynı frekans üzerinden iletilirler. Her bir CR farklı kanalda olabileceğinden bir kontrol kanalından bütün kullanıcılara erişilemez. Aynı frekans paylaşıldığından veri iletim kapasitesinde düşüklük meydana gelir. Aynı zamanda birincil kullanıcı kavramsal radyonun iletimi sırasında kanalı kullanmaya başlarsa, bağlantının tekrar kurulması zaman alacaktır. Aynı frekansın kullanılması tek radyo modülü kullanan kullanıcılara spektrum değiştirme maliyetinden avantaj sağlamaktadır. Diğer bir kontrol kanalı ise dış bant kullanımı diye isimlendirilen, iletişim yapılan frekanstan farklı bir frekansın kontrol kanalı için atandığı kullanımdır. Kontrol kanalı için birincil kullanıcıların kullandığı lisanslı bir frekans veya boş bir frekans kullanılabilir. Tek radyo modülünün kullanıldığı sistemlerde kanal değiştirme süresi veri iletim kapasitesini azaltacaktır. Ayrıca tek radyo modülü kullanıldığında kullanılan algoritma radyonun her zaman ulaşılabilir olmadığını bilerek tasarlanmalıdır.

2.4 Tasarsız Kavramsal Radyo Ağlarında Tümeğönderim

Kavramsal radyoların geleneksel radyolara göre çeşitli zorlukları olduğundan tümeğönderim yöntemi de geleneksel tasarsız ağlardan farklı olmalıdır. Geleneksel tasarsız ağlarda tüme gönderim yöntemleri hakkında hali hazırda birçok çalışma bulunmaktadır. Kavramsal radyolar kendi ortamlarındaki spektrum kullanımına göre birbirlerinden farklı spektrumda olabilirler. Birbirleriyle haberleşmeleri için boş bir kanal bulmaları ve bu kanalda buluşmaları gerekmektedir. Ayrıca birincil kullanıcılar kavramsal radyoların iletişimine zarar vermektedirler. Kavramsal radyoların aynı

kanalda buluşma zorluklarından, birincil kullanıcıların iletişimine zarar vermesinden dolayı tümegönderilen mesajın bütün düğümlere ulaşma başarısı düşmektedir.

3. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde literatürde çalıştığımız konu üzerine olan çalışmaları inceleyeceğiz. Yaptığımız çalışmada tümegönderim işlemini kavramsal radyo ağları üzerinde incelediğinden öncelikle tümegönderim üzerine geleneksel radyolar üzerinde yapılan çalışmalara değinilecek. Sonrasında kavramsal radyolarda tümegönderim çalışmalarından bahsedilecek.

3.1 Geleneksel Ağlarda Tümegönderim

Geleneksel ağlarda tümegönderim ağın temel yerine getirmesi gereken işlemlerden bir tanesidir. Tümegönderim ihtiyacı ortaya ilk çıktığında bir düğümün aldığı tümegönderim paketini bir kere çevresine yayması anlamına gelen taşıma metodu önerilmiştir. Yalnız bu yöntemin ağda çakışmalar oluşturduğu, düğümlerin birbirini bekler konumda kalmasına yol açtığı, gereksiz yere birçok mesaj yaratıldığı görüldü. Bunun üzerine ilk olarak [8-12]'deki çalışmalar ortaya çıkmıştır. Yalnız bu çalışmalarda zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA) metodu kullanılarak düğümlerin farklı zamanda kanala erişmesinden yararlanılmış veya topoloji bilgisinden yararlanılmaya çalışılmıştır. “The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network” isimli çalışma önerdiği yöntemlerle daha önceki çalışmaların önüne geçmiştir [13] ve bundan sonraki tümegönderim çalışmalarına temel oluşturmuştur. Diğer çalışmalardan farklı olarak ağa erişimde zamanda bir kısıtlama gerektirmemektedir ve topoloji bilgisi gerektiren önermeleri ise fazla bir topoloji bilgisi istememektedir. Bu çalışmanın önerdiği yöntemler sırasıyla tanıtılacaktır. Bu çalışmada bahsedilen sayaç tabanlı tümegönderim yönteminden çalışmamızda yararlanılmıştır.

3.1.1 Temel tümegönderim yöntemleri

Bu bölümde günümüzde önerilen tümegönderim yöntemlerinin temel aldığı yöntemler anlatılacaktır.

3.1.1.1 Yakınlık tabanlı yöntem

Bu yöntemde gönderici düğüm (G) ile alıcı düğüm (A) arasındaki uzaklığa göre alıcı düğümün mesajı iletip iletmeyeceğine karar verilir. A düğümünün, G düğümü ile arasındaki mesafeyi mesajı alırkenki sinyal gücünden hesaplayabileceği düşünülmüştür. G düğümü ile A düğümü arasındaki mesafe ne kadar kısa ise A düğümünün yaptığı iletimle kapsanabilecek alan o kadar dardır. A düğümü mesajı ilk aldığı anda eğer iki düğüm arasındaki mesafe belirlenen eşik değerinden az ise A düğümü o tümegönderim mesajını iletmez. Eğer uzaklık eşik değeri üzerinde ise A düğümü iletimini belirli bir süre erteler. Bu süre içinde eşik değerin altındaki yakınlıktan aynı mesajı alırsa, iletimini iptal eder.

3.1.1.2 Lokasyon tabanlı yöntem

Eğer alıcı A düğümü tümegönderim mesajını aldığı düğümlerin lokasyonunu ve kapsama alanlarını bilirse bu düğümlerin kapsadığı alanı hesaplayabilir. Eğer A düğümü kendi lokasyonunu ve kapsama alanını biliyorsa kendi iletimiyle ne kadarlık bir alanı kapsayabileceğini hesaplayabilecektir. Eğer kapsadığı alan eşik değerinden düşük ise iletiminden vazgeçecektir. A düğümü mesajı ilk defa aldığı anda eğer eşik değerinden yüksek bir değer hesapladıysa, iletime karar verir ve iletimini rastgele bir süre erteler. Bu rastgele süre içerisinde aynı tümegönderim mesajını aldıkça kapsadığı alanı tekrar hesaplar ve gönderip göndermeyeceğine karar verir.

3.1.1.3 Grup tabanlı yöntem

Tasarsız olarak yayılmış düğümler kendi aralarında bir grup yapısı kurarak topoloji hakkında bilgi sahibi olurlar. Grupların başı olan düğümler, grupları bağlayan ağ geçidi düğümler ve bir bağlantısı olmayan veya grup içinden düğümlerle bağlantısı olan yaprak düğümler bulunur. Eğer bir düğüm yaprak düğüm ise aldığı tümegönderim mesajını iletmez. Eğer yaprak düğüm değilse, yukarıda bahsedilen yöntemlerden birini uygulayarak iletip iletmeyeceğine karar verir.

3.1.1.4 Olasılıksal yöntem

Tümegönderim mesajını alan her düğüm gönderme işlemini yapmaz. Mesajı alan düğüm rastgele bir sayı üretir, eğer ürettiği rastgele sayı önceden belirlenmiş eşik değerin üzerinde ise tümegönderim mesajını iletir. Yarış durumlarını ve çakışmaları

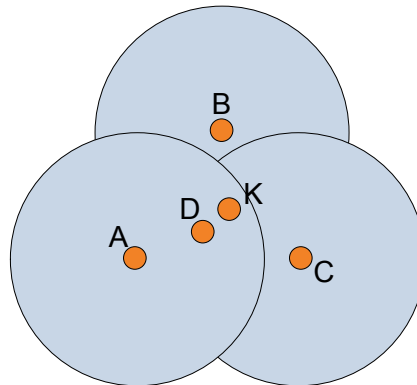
ortadan kaldırmak için mesajı iletecek düğüm mesajı iletmeyen ince rastgele bir süre bekleyebilir.

3.1.1.5 Sayaç tabanlı yöntem

Bir düğüm ne kadar çok kere aynı tümegönderim mesajını almışsa, o tümegönderim mesajını iletmeye ulaşılabileceği yeni düğüm sayısı o kadar azdır. Yani ne kadar çok komşu düğüm tümegönderim mesajını almışsa, o mesajı tekrar iletmeyen yararı o kadar az olacaktır. Bu bilgiye dayanılarak sayaç tabanlı tümegönderim yöntemi önerilmiştir. Buna göre önerilen yöntem adım adım şu şekilde işlemektedir

- Bir düğüm bir tümegönderim mesajını ilk kez aldığı anda, bir sayaç tayin edilir ve değeri 1'e atanır. Düğüm mesajı iletip iletmeyeceğinin değerlendirmek için 0 ile T_{max} arasında rastgele erteleme süresi (RES) belirler ve işlemi Δt kadar erteler.
- Eğer RES içinde düğüm bir tane daha tümegönderim mesajı alırsa, sayaç değerini bir arttırır. Eğer sayaç değeri, eşik değeri E'yi geçmişse düğüm iletimden vazgeçer.
- RES dolduğunda düğüm tümegönderim mesajını iletir.

Eşik değerinin belirlenmesinde düğümlere erişim miktarı ile tasarruf edilen mesaj sayısı arasında bir denge vardır. Eşik değeri yüksek olduğunda tasarruf edilen mesaj sayısı azaltmakta, erişilen düğüm sayısı artmaktadır. Eşik değeri düşük olduğunda tasarruf edilen mesaj sayısı artmaktadır, erişilen düğüm sayısı azalmaktadır.



Şekil 3.1 : Sayaç tabanlı uygulama için örnek bir topoloji.

Sayaç tabanlı tümegönderim yönteminin nasıl işe yaradığını şekil 3.1'de gösterilen basit bir ağ üzerinde basit bir hesap ile görelim. Beş düğümün ağa yukarıda şekilde

belirtildiği gibi yerleşmiş olsun ve eşik değeri olarak 2 tanımlansın. K düğümü tümegönderim mesajını gönderir ve A,B,C,D düğümleri tümegönderim mesajını aynı anda alır ve sayaç değerleri 1 olur. Bu düğümlerden her biri farklı RES belirler. Düğümlerden her biri bir kere daha tümegönderim mesajını aldığı anda iletimlerini iptal edecektir. Her bir düğümün ilk iletimi yapma ihtimali $\frac{1}{4}$ 'dür. D düğümü bütün düğümlerin kapsama alanında olduğundan iletimini iptal etme ihtimali $\frac{3}{4}$ 'dür. A, B, C düğümleri sadece D düğümünün kapsama alanı içindedir. Dolayısıyla iletimlerini iptal etme ihtimalleri $\frac{1}{4}$ 'dür. Şekilde de görüldüğü gibi D düğümünün iletim yapması hiç yarar sağlamayacaktır ve iletimini iptal etme ihtimali diğer düğümlerin 3 katıdır.

Tasarsız ağlarda düğümler ağa düzgün bir şekilde dağılmış olmayabilir. Bazı bölgelere düğümler yığılmış olabilir. Bu tür durumlarda her bir düğüm için ayrı eşik değeri uygulamak daha iyi sonuçlar verecektir. [14]'deki çalışmada komşu sayısına göre her bir düğüm için farklı eşik değeri uygulamanın yararı gösterilmiştir ve farklı komşu sayısı için farklı eşik değerleri önerilmiştir. Aynı zamanda kaynak düğümün uzaklığına göre düğümlerin eşik değerine farklı değerler atayan [15] ve gene bu uzaklık bilgisine göre düğümlerin hesapladığı RES'i farklı hesaplayan [16] çalışmalar vardır.

3.1.2 Sayaç tabanlı tümegönderim yönteminin seçilmesi.

Tümegönderim metotlarını olasılık tabanlı, lokasyon tabanlı ve bölge tabanlı metotlar olarak gruplara bölebiliriz. Olasılık tabanlı metotlar diğer metotlardan farklı olarak düğümün çevresi hakkında bilgi sahibi olmasını gerektirecek metotlar değildir. Bu sebeple uygulanması daha kolaydır. Olasılık tabanlı metotlar içinde olasılıksal yöntem ve sayaç tabanlı yöntem bulunmaktadır. Sayaç tabanlı yöntemin olasılıksal yöntemle göre daha üstün olduğu [13] ve [17]'de gösterilmiştir.

3.2 Kavramsal Radyo Tasarsız Ağlarda Tümegönderim

Bildiğimiz kadarıyla kavramsal radyolarda tümegönderim üzerine iki farklı çalışma bulunmaktadır.

3.2.1 Seçmeli tümegönderim çalışması

Yapılan çalışmalardan ilki gereksiz mesaj gönderim sayısını azaltmayı ve mesajın ağa yayılma süresini azaltmayı hedeflemiştir [18]. Bu çalışmada her bir düğümün tek bir radyo modülü vardır ve sistemde kontrol kanalı bulunmamaktadır. Düğümler ortamlarındaki birincil kullanıcı aktivitelerinden dolayı sadece belirli kanallarda bulunabilmektedir. Yani eğer sistemde K tane kanal varsa A düğümü bu kanallardan N tanesini kullanabilir, K-A tanesinde birincil kullanıcı etkinliği vardır. Her düğümün çalıştığı ortamındaki birincil kullanıcı etkinliği farklı olduğundan her düğüm farklı kanal setlerinde bulunmaktadır. Bu çalışmada her düğüm bütün komşuları ile haberleşebildiği kanal setinin belirliyor ve bu kanal setinden iletim yapıyor. Aşağıda bir düğümün komşuları ile haberleşebildiği kanal setini belirleme adımları açıklanmış.

A1: Kanal derecelerini belirten KD listesi oluşturulur. Bu listede her bir kanalın kaç düğümü bağladığı belirtilmiştir. Seçilmiş kanallar listesi (SKL) boş olarak oluşturulur.

A2: KD listesinden en fazla sayıda düğümü bağlayan kanal seçilir ve SKL listesine eklenir. Seçilen kanal ile düğümlerin bir kısmına erişilebilecektir. Kalan düğümlere göre KD listesi güncellenir.

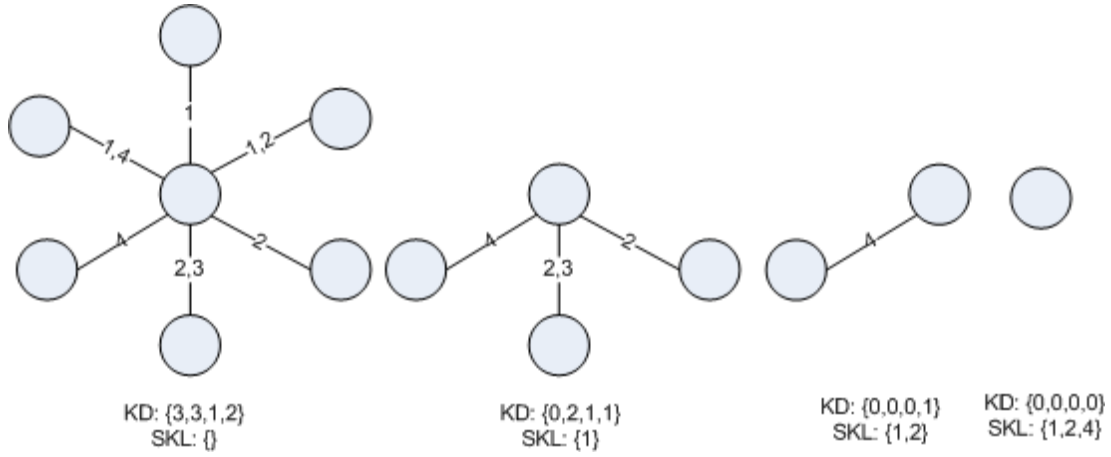
A3: Eğer erişilmeyen düğüm kalmışsa A2 adımına geri dönülür.

A4: SKL'da toplanan kanallar iletim yapılacak kanallardır.

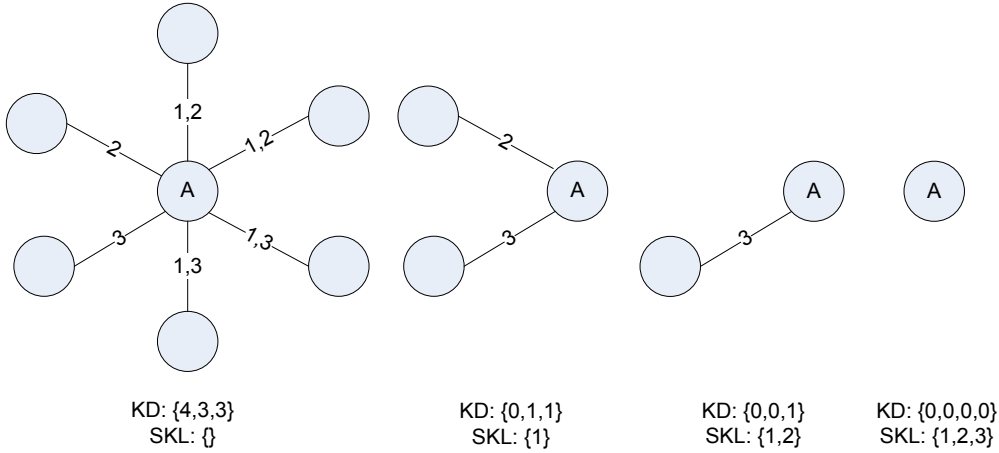
Bir düğüm hangi düğümlerden iletim yapacağını belirledikten sonra sırayla bu kanallardan iletim yaparak komşu düğümlerine erişmektedir. Yukarıdaki algoritma şekil 3.2'de A düğümün iletimine karar vermesi için işlettiği senaryoda en az sayıda kanal listesini bulabilmektedir. A düğümü 1,2,3,4 kanallarında çalışabiliyorken, komşularına üç kanaldan erişebilmektedir.

Şekilde 3.2'de algoritma en az kanal sayısına erişebiliyorken, şekil 3.3'deki örnekte algoritma en az kanal sayısına erişememektedir. En az sayıda kanal listesi 2 ve 3 kanalları ile oluşturulabiliyorken, önerilen algoritma 1,2,3 kanallarını bulmaktadır. Yapılan çalışmada bu durumdan bahsedilmemiştir. Şekil 3.2'deki durum belirli topolojilerde olduğundan ve zararı büyük olmadığından göz ardı edilebilecek bir durumdur.

Yapılan çalışmada bir düğüm tümegönderim mesajını birkaç kanaldan birer kere göndermektedir. Bu hem düğümlerin enerji tüketimleri açısından hem de ağda gereksiz trafik yaratılması açısından olumsuz bir durumdur. Çalışmada bazı kanalların devamlı dolu olduğu diğer kanalların ise devamlı boş olduğu varsayılmıştır. Birincil kullanıcılar ile ve düğümlerin kendi aralarında çakışmaları göz ardı edilmiştir. Aynı zamanda kanal değiştirme süresi ve düğümlerin kontrol kanalı olmadan aynı kanalda buluşmaları simülasyonda hesaba katılmamıştır.



Şekil 3.2 : Minimum sayıda kanal seçme algoritmasının işleyişi.



Şekil 3.3 : Minimum sayıda kanal seçme algoritmasının hatalı işleyişi.

3.2.2 Minimum zamanda tümegönderim çalışması

Bu çalışmada kavramsal radyo tasarsız ağlarda minimum zamanda tümegönderim yapma üzerine iki tane heuristic algoritma önerilmiştir [19]. ILP (Integer Linear Programming) yöntemi ile tümegönderim için geçmesi gereken en kısa süreler kesin olarak bulunmuş ve bu süreler önerilen algoritmalar ile karşılaştırılmıştır. “Selective

Broadcasting” çalışmasında olduğu gibi düğümlerin tek bir radyo modülü vardır, düğümler belirli bir kanal seti üzerinden birbirlerine bağlıdır.

3.2.2.1 Yöntem-1

Önerilen ilk yöntemin temel fikri en uzaktaki düğüme en kısa yoldan erişebilecek yola öncelik vermektir. Her bir düğümün kaynak düğümden uzaklığına göre düğümlere bir seviye atanmaktadır. Kaynak düğümün seviyesi 0 olacak şekilde diğer düğümlere seviyeleri atanmaktadır. En uzaktaki düğüm seviyesinden başlayarak aşağıdaki adımlar uygulanır.

A1: K seviyesindeki maksimum sayıda düğümlü kapsayacak şekilde $K-1$ seviyesinden iletim yapabilecek düğüm ve kanal seçilir.

A2: Eğer K seviyesindeki bütün düğümler seçilmemişse $A1$ ’e geri dönülür. Eğer K seviyesindeki bütün düğümler seçilmişse ve K bir azaltılır. Azaltılmış K sıfırdan farklı ise $A1$ ’e geri dönülür, değilse algoritma sonlandırılır.

Böylelikle normal ağ seviyesinden kavramsal radyo seviyesine geçilmiş olur. Bir sonraki adım için her bir düğümün derecesi hesaplanır. Düğümün ulaştığı en yüksek dereceli düğümün derecesinin bir fazlası düğüme atanır. En uç noktadaki düğümün derecesi 0, kaynak düğümün derecesi en yüksek olacaktır. Aşağıdaki adımlarla iletim yapacak düğüm seçilir.

A1: Derecesi en yüksek olan, elinde mesaj olan, o zaman slotunda iletim planlamamış, mesajı almayan komşuları olan düğüm seçilir. Eğer derecesi eşit birkaç tane düğüm varsa en fazla düğüme ulaşabilecek olan seçilir. Eğer bu düğümlerden de birkaç tane varsa rastgele seçilir.

A2: Eğer $A1$ ’de yapılan seçim çakışmaya sebep oluyorsa yeni bir seçim yapmak için $A1$ ’e dönülür.

A3: Bütün düğümlere erişilmişse algoritma sonlandırılır.

A4: $A1$ adımında herhangi bir düğüm seçilemiyorsa bir sonraki zaman slotuna ilerlenir ve $A1$ ’e dönülür.

Yukarıdaki adımların ardından hangi zaman slotunda hangi düğümün iletim yapacağı belirlenmiş olur. Bütün algoritmanın işleyişi ortaya çıktıktan sonra algoritma koşturulabilir duruma gelmiştir.

3.2.2.2 Yöntem-2

Önerilen ikinci yöntemin temel fikri ise bir zaman slotunda en fazla sayıda düğüme ulaşmaktır. Bunun için aşağıdaki adımlar uygulanır.

A1: Mesajı olan düğümler içinden en fazla düğüme mesajı iletebilecek düğüm ve kanal seçilir. Seçilen düğümün o zaman slotu içinde iletim planlamamış olması gerekmektedir.

A2: Eğer çakışma oluşuyorsa yeni bir seçim yapmak için A1'e dönülür.

A3: Bütün düğümlere erişilmişse algoritma sonlandırılır.

A4: Eğer yeni bir seçim yapılamıyorsa bir sonraki zaman slotuna geçilir.

Böylelikle zaman slotunda hangi düğümlerin iletim yapacağı belirlenmiş olur.

3.2.2.3 Önerilen Yöntemlerin Değerlendirilmesi

Yöntem-1 ILP ile hesaplanan değerlere yakın değerler elde edebilmiştir. Seçmeli Tümegönderim çalışmasında olduğu gibi bazı kanalların devamlı dolu olduğu, bazılarının devamlı boş olduğu varsayılmıştır. Kanal değiştirme süresi, kontrol kanalı olmadan düğümlerin aynı kanalda buluşma maliyeti göz ardı edilmiştir. Ayrıca önerilen yöntemlerde ağın tüm topoloji bilgisine sahip olunduğunu varsayılmışlardır. Düğümlerin karar verme aşamasında çakışma olmayacak biçimde karar verdikleri belirtilmiştir. Yalnız çakılmayı nasıl engelledikleri belirtilmemiştir. Algoritma genel yapısı ile bir düğüm üzerinde koştuktan ziyade bütün ağa hâkim bir denetleyicinin koşturabileceği cinstendir.

3.3 Kanal Seçme Çalışmaları

Kavramsal radyolarda kanal seçme ile ilgili birçok araştırma bulunmaktadır. Bir CR spektrum sezme yaptıktan sonra muhtemelen birçok boş spektrum bulacaktır [2]. Yalnız bu frekanslardan daha kullanılabilir olanlar olabilir. Birincil kullanıcıların daha az kullandığı frekansı seçmek kavramsal radyo açısından daha iyi olacaktır. Bunun için birincil kullanıcıların istatistiksel bilgileri kullanılabilir [20]. Birçok çalışmada istatistiksel bilgilerle birlikte düğümler arasında işbölümünden yararlanılmıştır. [21]'deki çalışmada tasarsız ağlarda düğümler sezme işlemini işbirliğiyle yapıp, karar verme işleminde düğüm kendi lokal istatistikleriyle

gerçekleştirmektedir. [72]'teki çalışmada ise düğümler kanal seçimleri hakkında bilgileri birbirleri ile paylaşmaktadır. Böylelikle düğümler kanalların ağ genişliği, kanallardaki çakışma miktarı ve gecikme ile ilgili bilgi sahibi olmuşlardır. Benzer bir şekilde [23]'deki çalışmada birincil kullanıcıların kanallarda bulunma oranları paylaşılmaktadır. Kanalları hakkındaki bilgilerin kavramsal radyolar arasında paylaşılmasıyla kavramsal radyo ortamdan kısa zamanda daha çok veri toplayabilmektedir ve ortama daha hızlı adapte olmaktadır. Aynı zamanda daha çok veri kullanarak daha başarılı kanal seçme kararları verebilmektedir. Dinamik spektrum erişimi hakkındaki bir araştırmada Partially observable Markov decision process (POMDP) kullanarak geçmiş bilgilerden yaralanan üç farklı yöntem incelenmiş ve bu yöntemler debiyi %40 arttırmıştır [24].

4. ÖNERİLEN YÖNTEM: PA_RfM

PA_RfM (Primary Aware, Request for Message – Birincil Kullanıcı Farkında, İstek Özellikli) yönteminde önceki çalışmalardan farklı olarak birincil kullanıcıların aktif olduğu kanallarda çalışabilmesi, çakışmalara rağmen başarıya ulaşması, bir düğüm üzerinde koşabilecek olması hedeflendi. Tümegönderim yönteminin başarılı sayılabilmesi için yaydığı mesajın neredeyse bütün düğümlere ulaştırması gerekmektedir. Dolayısıyla yöntem geliştirilirken mesajın bütün düğümlere ulaşması hedeflenmiştir. Aynı zamanda algoritmanın mümkün olduğunca az iletim yapması ve mesajın tüm düğümlere yayılma süresinin makul bir seviyede olması hedeflenmiştir.

Önerilen yöntemde tümegönderim mesajının ağa yayılması kontrol mesajları ile desteklenmiştir. Kontrol kanalı üzerinden kontrol mesajları iletilmiş, veri kanalları üzerinden tümegönderim mesajı iletilmiştir. Algoritma özet olarak şu şekilde işlemektedir. Elinde tümegönderim mesajı alan düğüm komşularını bir kanala toplanmaları için davet eder. Düğüm çakışma ihtimalini düşürmek ve başarılı iletimleri arttırmak için birincil kullanıcı etkinliğinin en düşük olduğu kanala komşularını çağırır. Tümegönderim mesajının ağa erişebilirliğini arttırmak için mesajı alamayan düğüm mesaja sahip olduğunu bildiği bir komşusundan mesajı isteyebilmektedir. Tümegönderim mesajlarının iletimine karar verme aşamasında tasarruf yapmak amacıyla da sayaç tabanlı tümegönderim yönteminden yararlanılmıştır.

4.1 Kullanılan Mesajlar

Algoritmada üç çeşit mesaj kullanılmıştır.

BroadCastMsg(MSG_{id}), tümegönderim mesajını temsil eder. Her bir tümegönderim mesajının bir mesaj kimlik numarası (MSG_{id}) vardır. MSG_{id} kaynak düğüm kimlik numarası ve kaynak düğümün tümegönderim mesajı sıra numarasından oluşabilir. Mesaj veri kanallarından birinden gönderilir.

$CallToChannel(Ch_i, MSG_{id})$ mesajı, düğümleri MSG_{id} tümegönderim mesajını almak için Ch_i kanalına çağıran mesajdır. Mesaj kontrol kanalından gönderilir. Mesaj içerisinde mesajı gönderen düğümün kimlik numarası bulunur.

$HaveMsg(MSG_{id})$ mesajı, mesajı gönderenin MSG_{id} tümegönderim mesajına sahip olduğundan haberdar etmek için kullanılır. Mesaj kontrol kanalından gönderilir. Mesaj içerisinde mesajı gönderen düğümün kimlik numarası bulunur.

4.2 Algoritmanın İşleyişi

Elinde tanımlayıcısı MSG_{id} olan tümegönderim mesajını ($BroadCastMsg(MSG_{id})$) iletmek isteyen düğüm öncelikle birincil kullanıcı yoğunluğunun düşük olduğu uygun bir kanal (Ch_i) seçer. Komşularını bu kanala çağırmak için kontrol kanalı üzerinden $CallToChannel(Ch_i, MSG_{id})$ mesajını gönderir ve Ch_i kanalına geçer. $BroadCastMsg(MSG_{id})$ mesajını daha önce almamış, meşgul olmayan düğümler de Ch_i kanalına geçerler. Kanal değiştirme işlemi tamamlandıktan sonra kaynak düğüm Ch_i kanalı üzerinden $BroadCastMsg(MSG_{id})$ mesajını iletir. $BroadCastMsg(MSG_{id})$ mesajını alan düğüm doğrudan tümegönderim mesajını komşularına iletmez. Düğüm mesajı aynı anda alan düğümler ile çakışmamak için bu mesaj ile ilgili işlemini RES kadar erteler. Düğüm RES'in sonunda sayaç tabanlı tümegönderim yöntemi ile ne yapacağına karar verir. Düğüm $BroadCastMsg(MSG_{id})$ mesajının ağdaki varlığından haberdar olduğunda bu mesaj için bir sayaç $counter(MSG_{id})$ atar ve sayacın değerini 1 yapar. Düğüm ne zaman bir komşusunun daha mesaja sahip olduğunu öğrendiğinde sayacın değerini bir artırır. RES sonunda sayaç değeri önceden belirlenmiş eşik (T) değerinin altındaysa düğüm $CallToChannel(Ch_j, MSG_{id})$ mesajını kontrol kanalı üzerinden gönderir. Sayaç değeri eşik (T) değerinin üstündeyse düğüm tümegönderim mesajına göre maliyeti az olan $HaveMsg(MSG_{id})$ mesajını kontrol mesajı üzerinden gönderir. Eğer bir düğüm $CallToChannel(Ch_i, MSG_{id})$ veya $HaveMsg(MSG_{id})$ mesajından sonra $BroadCastMsg(MSG_{id})$ mesajını alamadıysa $BroadCastMsg(MSG_{id})$ mesajı hakkında düğümü en son bilgilendiren düğümün mesajı ister. Düğüm tümegönderim mesajını istemek için kontrol kanalı üzerinden $ReqForMsg(MSG_{id})$ mesajını gönderir. Algoritmanın mesajları aldığı anda hangi adımları işlettiği daha ayrıntılı olarak Şekil 5.1'de simgesel dil ile gösterilmiştir. Algoritma adımlarının gerçekleşmesi için *QuitBusyState*, *SendRequest*, *SendBroadcastMsg* isiminde üç adet zamanlayıcı kullanılmıştır.

```

Fonksiyon mesajıAl(msg)
if( msg türü CallToChannel(Ch, Msgid) )
    sayaç(Msgid)  $\leftarrow$  sayaç (Msgid) + 1
    if(BroadcastMsg(Msgid) daha önce alınmadıysa & busy = false)
        busy  $\leftarrow$  true
        kanal değiştirneye başla
        ayarla SendRequest(Msgid) zamanlayıcısı ( $t_{cc} + t_b + t_d + rand(t_{max})$ )
        ayarla QuitBusyState zamanlayıcısı ( $t_{cc} + t_b + t_d$ )
    endif
endif
else if( msg türü HaveMsg(Msgid) )
    sayaç (Msgid)  $\leftarrow$  sayaç (Msgid) + 1
    if(BroadcastMsg(Msgid) daha önce alınmadıysa)
        ayarla SendRequest(Msgid) zamanlayıcısı ( $t_{cc} + t_b + t_d + rand(t_{max})$ )
    endif
endif
else if(msg türü SendRequest (Msgid))
    if(istek bana mı yapılmış)
        uygun veri kanalını seç, Chi
        gönder CallToChannel(Chi, Msgid), CCC üzerinden
        kanal değiştir
        gönder BroadCastMsg(Msgid), Chi üzerinden
    endif
endif
else if(msg türü BroadCastMsg(Msgid) & BroadCastMsg(Msgid) daha önce alınmadıysa)
    durdur SendRequest(Msgid) zamanlayıcısı
    durdur QuitBusyState zamanlayıcısı
    busy  $\leftarrow$  false
    CWreq  $\leftarrow$  CWreqMin
    ayarla SendBroadcastMsg(Msgid) zamanlayıcısı ( $rand(t_{max})$ )
endif

```

Şekil 4.1 : Düğümün mesajları alması.

QuitBusyState zamanlayıcısı düğümün bir mesajı almak için sonsuza kadar beklemesini engellemek için kullanılmıştır. Düğüm bir tümegönderim mesajını almak için kanal değiştirmeden önce *busy* bayrağını *true* değerine getirir. Böylelikle mesajı alıncaya kadar veya *QuitBusyState* zamanlayıcısı doluncaya kadar düğüm diğer istekleri göz ardı eder. Düğüm kanal değiştirmeye başlamadan önce *QuitBusyState* zamanlayıcısına ($t_{cc} + t_b + t_d$) süresini ayarlar. t_{cc} kanal değiştirme süresini, t_b tümegönderim mesajı alım süresini, t_d ise yayılma ve hesaplamadan dolayı doğacak gecikmeleri belirtir. *QuitBusyState* zamanlayıcısı tetiklendiğinde *busy* bayrağı *false* yapılır ve yeni mesajlara açık olur.

SendRequest zamanlayıcısı bir tümegönderim mesajı için istekte bulunmak için ayarlanır. Bir düğüm çakışmalardan dolayı veya sayaç tabanlı tümegönderim yöntemi yüzünden bir tümegönderim mesajını almamış olabilir. Eğer düğüm mesajın varlığından haberdar ise onu en son haberdar eden düğümden tümegönderim mesajını ister. Düğüm *CallToChannel*(Ch_i, MSG_{id}) veya *HaveMsg*(MSG_{id}) mesajını aldıktan sonra *SendRequest* zamanlayıcısına $(t_{cc} + t_b + t_d + rand(t_{max}))$ süresini ayarlamaktadır. $rand(t_{max})$ süresi istekte bulunan düğümlerin istek mesajlarının birbirleri ile çakışmasını engellemek için mesajı almanın beklenen süresine eklenmiştir. Yalnız istekte bulunan düğüm istek mesajının veya cevap mesajının kaybolmasından dolayı veya istekte bulunulan düğümün meşgul olmasından dolayı tümegönderim cevabını alamayabilir. Bundan dolayı birkaç kere geri çekilmeli olarak istekte bulunur. *SendRequest* zamanlayıcısı ilk defa tetiklendiğinde, bir sonraki istek için zamanlayıcıya $(rand(CWreq) * t_c)$ süresi atanır. $CWreq$ değişkeni geri çekilme algoritmasının parametresi, t_c ise kontrol mesajlarının iletilme süresidir. İlk istekte bulunurken $CWreq$ değişkeninin değeri $CwreqMin$ değerine eşittir ve her istekte $CWreq$ değeri iki çarpılır. Düğüm $CWreq$ değeri $CwreqMax$ değerinin altında kaldığı sürece istekte bulunur. *SendRequest* zamanlayıcı tetiklendiğinde düğümün davranışı şekil 4.2’de gösterilmiştir.

```

SendRequest(Msgid) Zamanlayıcısı
if( CWreq < CWreqMax)
    ayarla SendRequest(Msgid) zamanlayıcısı (rand(CWreq) *  $t_c$ )
    gönder ReqForMsg(Msgid), CCC üzerinden
    CWreq  $\leftarrow$  2 * CWreq
else
    CWreq  $\leftarrow$  CWreqMin
Endif

```

Şekil 4.2 : SendRequest zamanlayıcısı.

SendBroadcastMsg zamanlayıcısı sayaç tabanlı tümegönderimde RES mekanizmasını uygulamak için ve mesaj gönderimi yapacak düğümler arası çakışmayı engellemek için kullanılır. Bir düğüm tümegönderim mesajını aldıktan sonra *SendBroadcastMsg* zamanlayıcısına $rand(t_{max})$ süresi atanır. Bu süre sonunda zamanlayıcı tetiklendiğinde sayaç değeri eşik değerini aştıysa düğüm tümegönderim mesajını iletmekten vazgeçer ve tümegönderim mesajından çok daha küçük olan *HaveMsg*(MSG_{id}) mesajını kontrol kanalı üzerinden iletir. Eğer eşik değeri aşılmadıysa düğüm komşularını uygun bir kanala çağırır ve tümegönderim

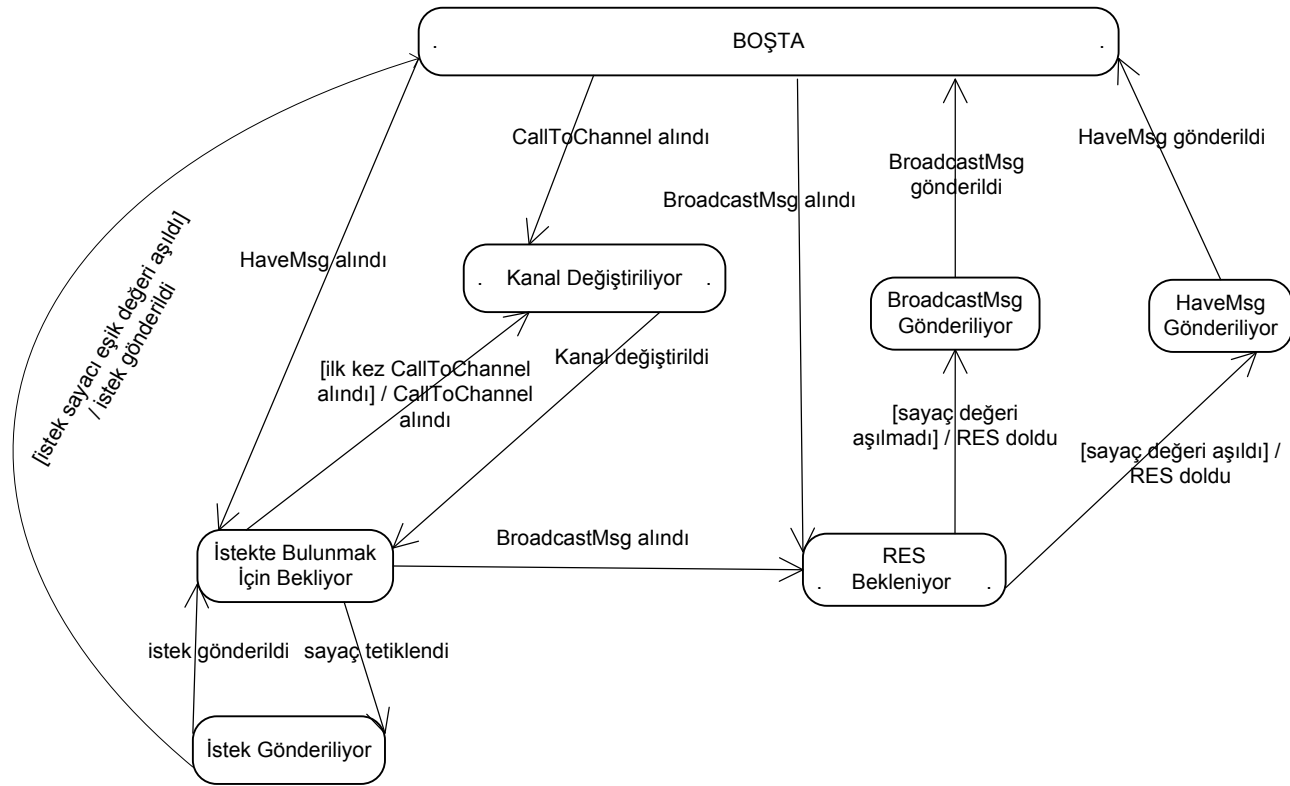
mesajını bu kanaldan iletir. *SendBroadcastMsg* zamanlayıcısı tetiklendiğinde düğümün ne yapacağı Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

```
SendBroadcastMsg (Msgid) Zamanlayıcısı  
if(counter >= T)  
    gönder HaveMsg(Msgid), CCC üzerinden  
else  
    seç uygun veri kanalını Ch  
    gönder CallToChannel(Ch, Msgid), CCC üzerinden  
    gönder BroadCastMsg(Msgid), kanal değiştikten sonra  
endif
```

Şekil 4.3 : SendBroadcast zamanlayıcısı.

4.3 Düğüm Durum Diyagramı

Şekil 4.4’de önerilen algoritma için bir düğümün durum diyagramı gösterilmiştir. Durum diyagramının daha fazla karışmaması için sayaç tabanlı tümegönderim yönteminde kullanılan sayaç artırım işlemi konulmamıştır. Her bir *CallToChannel* ve *HaveMsg* mesajlarının alımında sayaç değeri bir arttırılacaktır.



Şekil 4.4 : Düğüm durum diyagramı.

5. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Önerilen algoritmanın başarısını test etmek amacıyla yazılım ortamında bir simülasyon ortamı kurduk. İlk önce simülasyon ortamının sabitlerini ele alacağız. Sonrasında önerdiğimiz algoritmayı erişebilirlikte, ulaşılan düğüm başına yapılan veri transferinde ve tümegönderim mesajının ağa yayılma süresi açısından yarattığımız diğer algoritmalarla göre inceleyeceğiz. Tablo 5.1’de PA_RfM stratejisinin özellikleri ve yaratılan rakip stratejilerin özellikleri sunulmaktadır.

Çizelge 5.1 : Simülasyonda kullanılan algoritmalar.

Stratejiler	Özellikler			
	kanala çağırma	istekte bulunma	sayaç tabanlı tümegönderim	birincil kullanıcı farkındalığı
PA_RfM	+	+	+	+
ReqForMsgwithCounter (RfMwC)	+	+	+	-
ReqForMsg (RfM)	+	+	-	-
CallToChannel (CtC)	+	-	-	-
SendDirectly (SD)	-	-	-	-

Yukarıda bahsedilen özellikleri sırası ile açıklayacağız. “kanala çağırma” özelliği tümegönderim mesajı yaymak isteyen düğümün mesajı göndermeden önce düğümleri bir kanala çağırmasını temsil eder. “istekte bulunma” özelliği ise bir düğüm bir tümegönderim mesajının farkında olduğunda ve mesajı belli bir süre alamadığında en son onu bilgilendiren düğümden tümegönderim mesajını istemesidir. “sayaç tabanlı tümegönderim” özelliğinde ise sayaç tabanlı tümegönderim yönteminden yararlanarak fazla tümegönderim mesajı gönderilmesi engellenmektedir. “birincil kullanıcı farkındalığı” özelliği ise tümegönderim mesajının gönderileceği kanal seçimi yapılırken birinci kullanıcılarının kanal kullanım oranları göz önünde bulundurarak seçimi yapar. Simülasyonda basit olması

açısından kanallardaki birincil kullanıcıların yüzdesine göre kanal seçimi yapılmıştır. “birincil kullanıcı farkındalığı” özelliğine sahip olmayan stratejilerde düğüm rastgele bir kanal seçer ve o kanaldan mesajı gönderir.

Yukarıdaki özelliklerin hiçbirini barındırmayan strateji “SendDirectly” stratejisidir. Bu stratejide düğüm aldığı mesajı seçtiği rastgele bir kanaldan doğrudan göndermektedir. Her bir özellik sıra ile üst üste eklenerek dört farklı strateji yaratılmıştır. Simülasyonda bu stratejilerden yararlanılacaktır, böylelikle hangi özelliğin neye katkı sağladığı belirlenebilecektir.

5.1 Simülasyon Ortamı

Olay tabanlı bir simülasyon ortamı geliştirilmiştir. Simülasyon internette açık kaynak kodlu olarak yayınlanan tasarsız ağlar için 802.11 protokolü simülasyonunun [25] kavramsal radyoya uyarlanmasıyla geliştirilmiştir. İnternette yayınlanan sürüm normal ağlar için olduğundan tek kanalda çalışan bir simülasyondur, çeşitli değişikliklerle çok kanallı yapıya uygun hali getirilmiştir.

Simülasyon 1000*1000 birimlik bir alanda 100 birim iletim alanı olan düğümlerden oluşmuştur. Farklı düğüm yoğunluklu ortamlarda test yapmak için 200 ve 400 düğümlü iki farklı sistem üzerinde simülasyon yapılmıştır. Düğümlerin ağda bir yere yığılmaması için düğümler ağa yerleştirilirken birbirlerinden R kadar uzak olmalarına dikkat edilmiştirler. 200 düğümlü ağda R 60 birim, 400 düğümlü ağda R 40 birim olarak seçilmiştir. Her bir strateji 250 farklı ağda koşturulmuştur ve çıkan sonuçların ortalaması alınmıştır. Her bir stratejinin koştugu 250 ağ stratejiler için aynıdır.

Her bir düğüm etrafındaki veri kanallarını birincil kullanıcılar $(5+5*\text{rand}(10))$ yüzdesiyle meşgul edeceklerdir. Yani veri kanalları birincil kullanıcılar tarafından zamanın %5 ile %50 arasında değişen değerlerle meşgul edileceklerdir. Bu yüzdeye göre tümegönderim mesajları birincil kullanıcı ile çakışacak veya çakışmayacaklardır. Kontrol kanalında ise birincil kullanıcı etkinliği yoktur. Yapılan her bir test 2 kanallı sistemden 10 kanallı sisteme kadar yapılmıştır. Kanalların her birine 2Mbit/s bant genişliği atanmıştır. Tümegönderim mesajları 2048 bayt olarak; kontrol mesajları *CallToChannel*, *ReqForMsg* ve *HaveMsg* mesajları 100 bayt olarak ayarlanmıştır. [26]’daki çalışmada geliştirilen MadWifi sürücüsü ile kanal

değiştirmenin yavaş işlemde 100ms olabildiği, hızlı işlemde ise 5ms'e inebildiği belirtilmiştir. Buna bağlı olarak kanal değiştirme süresi simülasyonda 10ms olarak belirlenmiştir.

[14]'deki çalışmada sayaç tabanlı tümegönderimin ortama daha iyi uyum sağlayabilmesi için “adaptive counter based broadcasting scheme” (uyabilen sayaç tabanlı tümegönderim yöntemi) fikri önerilmiştir. Yapılan çalışma değişik sayıda komşusu bulunan düğümlerin değişik eşik değeri uygulamasını önermektedir. “istekte bulunma” özelliği sayesinde önerilen yöntemlerin ulaşabilirlik kaygıları daha azdır. Dolayısıyla simülasyonda [14]'de belirtilen eşik değerlerinden daha düşük eşik değerleri kullanılmıştır. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 komşulu düğümler için sırasıyla 1, 1, 2, 2, 3, 3, 2 ve 2 eşik değerleri kullanılmıştır. Ayrıca algoritmada kullanılan t_{max} süresi için kontrol mesajlarının iletim süresinin sekiz katı ($t_{max}=3,05ms$) atanmıştır. Ayrıca t_d süresi için 0,4ms, $CWreqMin$ için 16, $CWreqMax$ için 1024 atanmıştır.

5.2 Simülasyon Sonuçları

Bir tümegönderim yönteminin sağlaması gereken en önemli özellik mesajın neredeyse bütün düğümlere eriştirilebilmesidir. Tasarsız ağlardaki düğümler genelde bir enerji kaynağına bağlı olmadıklarından daha az enerji harcamalıdır. Harcadıkları enerji miktarını daha az mesaj yaratarak ciddi bir biçimde azaltabilirler. Yaratılan mesaj sayısı arttıkça ağda tıkanıklık artmakta, erişebilirlik düşmektedir. Mesajın ağda yayılma süresi ise bazı zaman kritik uygulamalar için önemli olabilir. Şimdi sırasıyla mesajın erişebilirliğini, ne kadar mesaj ürettiğini ve mesajın ağda yayılma süresini iki farklı konfigürasyon için de incelenecektir.

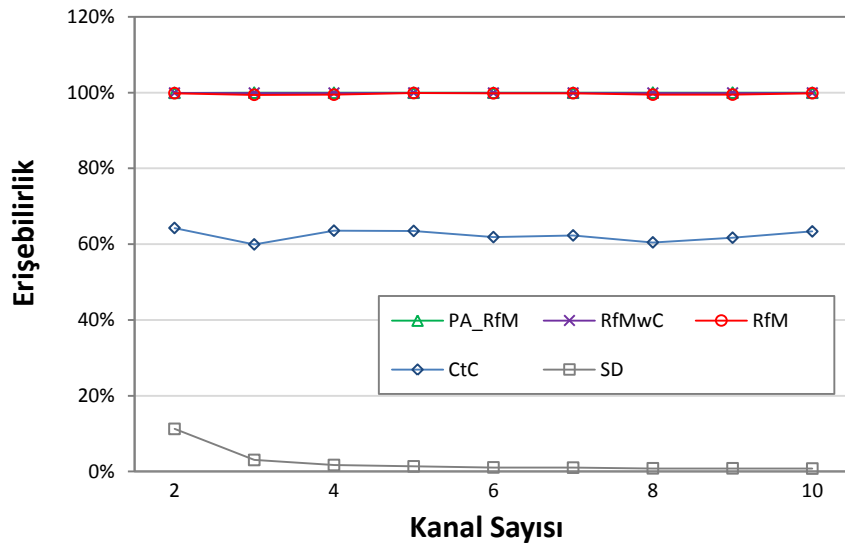
5.2.1 Erişebilirlik

Mesajın ağdaki düğümlerin ne kadarına eriştiği incelenecektir. Şekil 5.1'de 200 düğüm için ağda erişebilirlik, Şekil 5.2'de 400 düğüm için ağda erişebilirlik gösterilmiştir. Görüldüğü gibi “istekte bulunma” özelliğini barındıran stratejiler neredeyse düğümlerin hepsine erişmektedir.

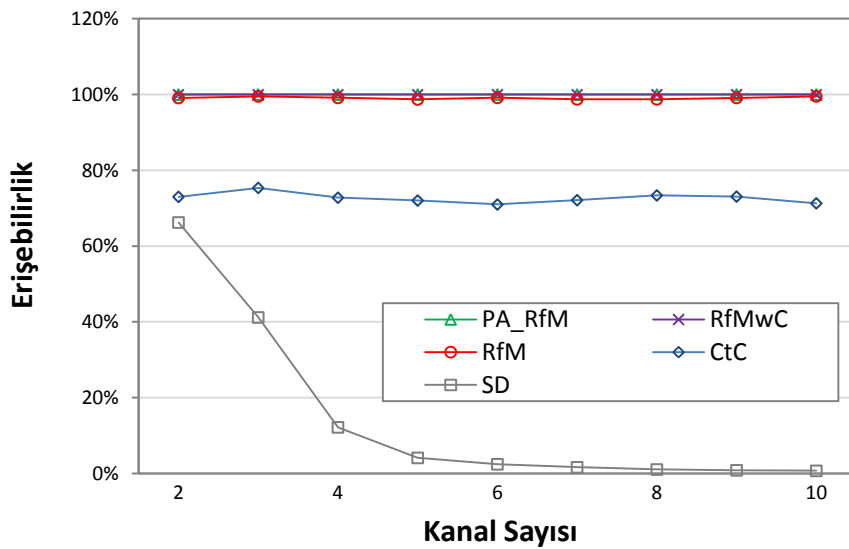
“istekte bulunma özelliğini” barındırmayan “CallToChannel” stratejisinde gönderici düğüm komşu düğümleri bir kanal çağırmasına rağmen düşük yoğunluklu ağda düğümlerin %40'ına, yüksek yoğunluklu ağda düğümlerin %30'una erişilememiştir. Bunun sebebi birincil kullanıcılar ile ve kavramsal radyoların kendi aralarında

çakışmalarıdır. Yüksek yoğunluklu ağda daha fazla düğüm, mesajı ilettiğinden ulaşılan düğüm sayısı da daha fazla olmuştur.

“SendDirectly” strateji kanal sayısı çoğaldıkça düğümlere erişememektedir. Çünkü kanal sayısı arttıkça düğümlerin aynı kanalda bulunma ihtimalleri azalmaktadır. İki kanal olduğunda 200 düğümlü sistemde düğümlerin birkaçına erişebilmektedir. 400 düğümlü sistemde ise düğümlerin %60’ından fazlasına erişebilmektedir. “SendDirectly” stratejisi 2 kanallı sistemler dışında düğümlere erişemediğinden daha sonraki değerlendirilmelerde incelenmeyecektir.



Şekil 5.1 : Erişebilirlik (düşük yoğunluklu ağda).



Şekil 5.2 : Erişebilirlik (yüksek yoğunluklu ağda).

5.2.2 Maliyet

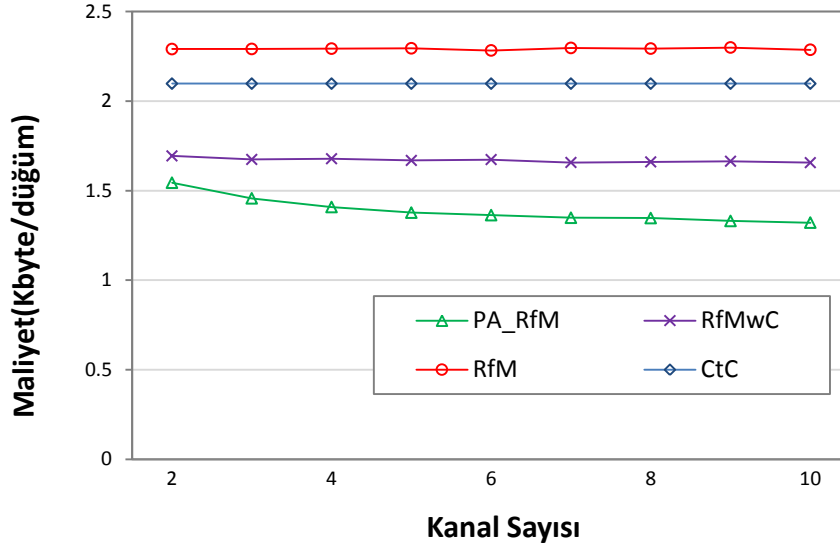
İkinci olarak tümegönderim işleminin maliyeti göz önüne alınmıştır. Tasarsız ağ sistemlerindeki düğümlerin genelde enerji kaynakları olmadığından maliyet olarak harcanan enerji miktarı değerlendirilmiştir. Harcanan enerji miktarı yaratılan mesaj miktarı ile ölçülmüştür. Yalnız stratejilerin erişebilirlikleri farklı olduğundan maliyet erişilen düğüm sayısı başına iletilen veri miktarı olarak gösterilmiştir. Sonrasında 10 kanallı bir ağda toplam maliyetler gösterilmiştir.

Şekil 5.3’de az yoğunluklu ağ için, Şekil 5.4’de çok yoğunluklu ağ için erişebilen düğüm başına maliyet gösterilmektedir. “CallToChannel” stratejisinde tümegönderim mesajına sahip bütün düğümler bir tümegönderim mesajı (2048 bayt) ve bir kontrol mesajı *CallToChannel* (100 bayt) göndermektedir. Dolayısıyla düğüm başına maliyet 2148 bayt olmaktadır. “ReqForMsg” stratejisinde bir düğüm kesinlikle tümegönderim mesajını ve *CallToChannel* (100 bayt) mesajını göndermektedir. Ayrıca bazı düğümler istekte bulunmak için *ReqForMsg* (100 bayt) mesajını veya isteklere cevap vermek için fazladan tümegönderim mesajı göndermektedir. Dolayısıyla “ReqForMsg” stratejisinin maliyeti “CallToChannel” stratejisinden biraz yüksektir. Yüksek yoğunluklu ağda bazı düğümler alamadıkları mesajı istekte bulunmadan komşularından temin etme ihtimali düşük yoğunluklu ağa göre daha fazla olduğundan, yüksek yoğunluklu ağda “ReqForMsg” stratejisinin maliyeti düşmektedir.

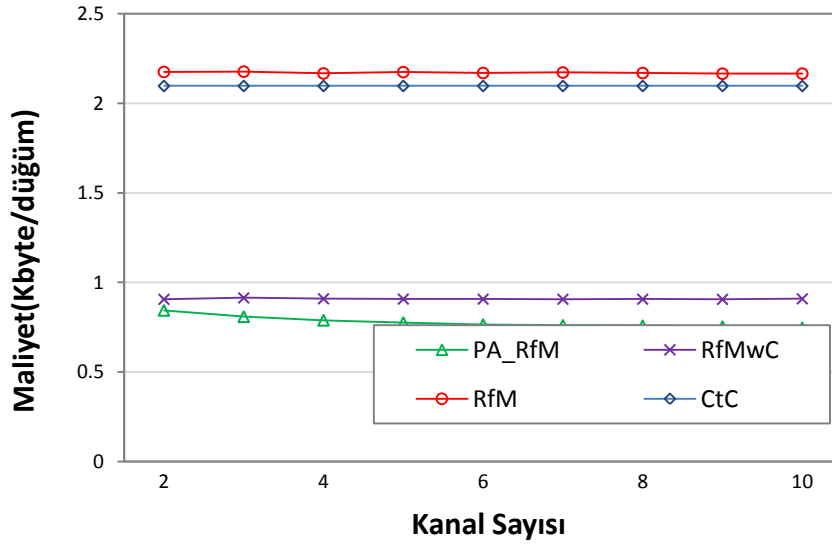
“ReqForMsgwithCounter” stratejisinde sayaç tabanlı tümegönderim yönteminden yararlanılarak daha az sayıda tümegönderim mesajı yaratılmıştır. Tümegönderim mesajları yerine boyutu çok daha küçük *HaveMsg* paketleri yaratılmıştır. Önerilen “PA_RfM” stratejisinde ise “birincil kullanıcı farkındalığı” özelliği kullanılarak daha iyi kanallar seçilmiştir. Birincil kullanıcılar ile daha az çakışmaya maruz kalınmıştır ve daha az tümegönderim mesajı yaratılmıştır. Kanal sayısı çoğaldıkça daha iyi kanalların olma olasılığı arttığından “PA_RfM” stratejisinin maliyeti kanal sayısı artıkça azalmaktadır. “ReqForMsgwithCounter” ve “PA_RfM” stratejisinde yüksek yoğunluklu ağda ulaşılabilen düğüm sayısı daha fazla olduğundan düğüm başına düşen maliyet düşük yoğunluklu ağdan daha düşüktür.

Kanal sayısı artıkça düğümlerin kendi arasındaki çakışmalar azalacağından düğüm başına maliyetin azalması beklenmektedir. Yalnız beklenildiği gibi olmamaktadır,

kanal sayısı az olduğunda düğümlerin aynı kanalda bulunma olasılıkları artmaktadır. Dolayısıyla düşük kanal sayılı sistemlerde düğüm çakışmalardan dolayı bir mesajı alamadığında aynı kanaldan yayın yapan başka bir düğümden mesajı alma ihtimali artmaktadır.



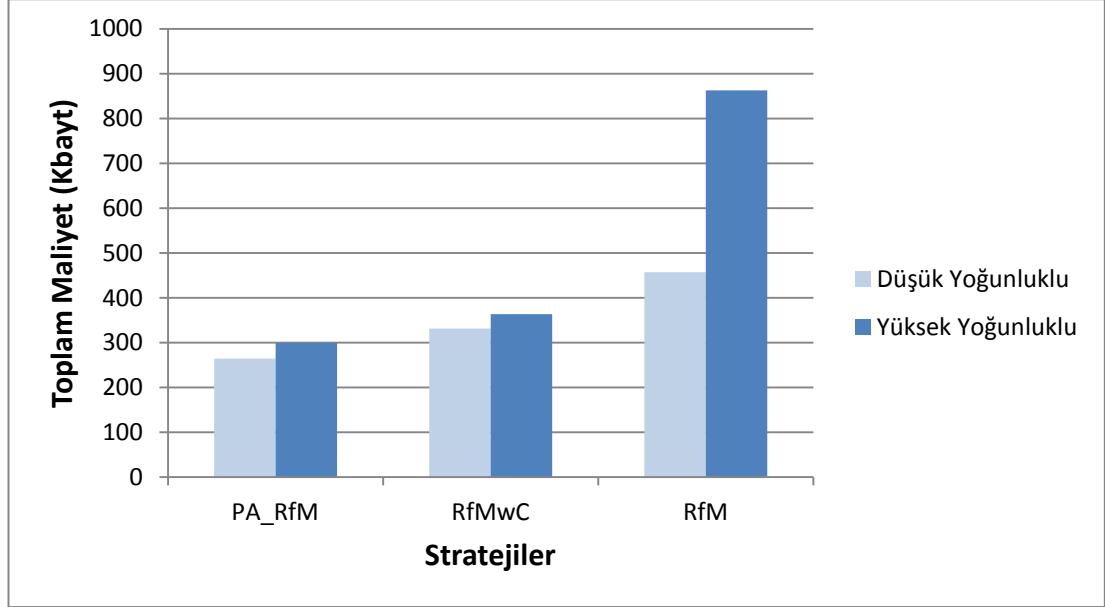
Şekil 5.3 : Maliyet (düşük yoğunluklu ağda).



Şekil 5.4 : Maliyet (yüksek yoğunluklu ağda).

Yukarıdaki grafiklerde erişilebilen düğüm başına maliyetler verilmiştir. Şekil 5.5'te ise düğümlerin hepsine ulaşabilen stratejiler için toplam maliyetler gösterilmiştir. “sayaç tabanlı tümegönderim” özelliği ile tasarruf sağlayan PA_RfM ve RfMwC stratejileri ağdaki iki kat düğüm yoğunluğundan çok az etkilenmiştir. Yalnız RfM

stratejisinde düğüm yoğunluğundan neredeyse iki kat etkilenmiştir. RfM stratejisinde bütün düğümler tümegönderim mesajını iletmektedir, daha sonra alamayan düğümler istekte bulunmaktadır. Yüksek yoğunluklu ağda düşük yoğunluklu ağa göre daha fazla mesaj yaratıldığından daha az istekte bulunulmuştur. Dolayısıyla maliyet iki kattan daha azdır.



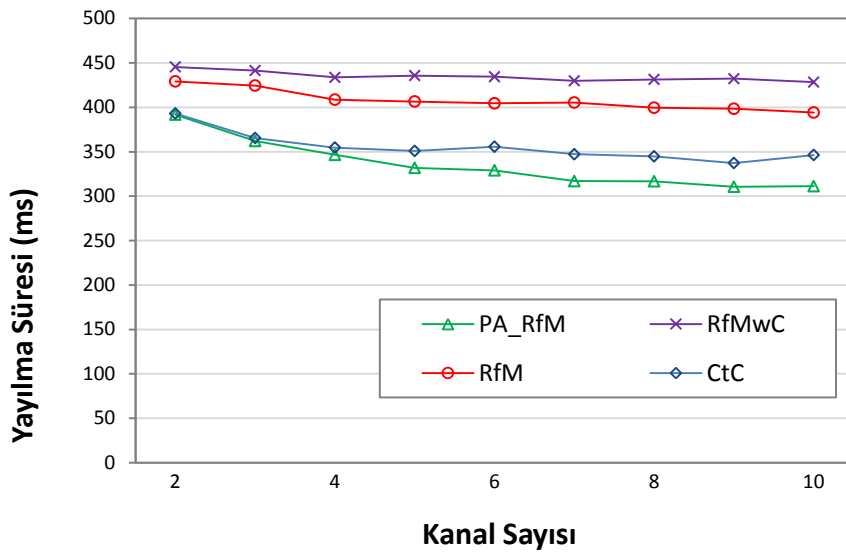
Şekil 5.5 : Toplam maliyet.

5.2.3 Yayılma süresi

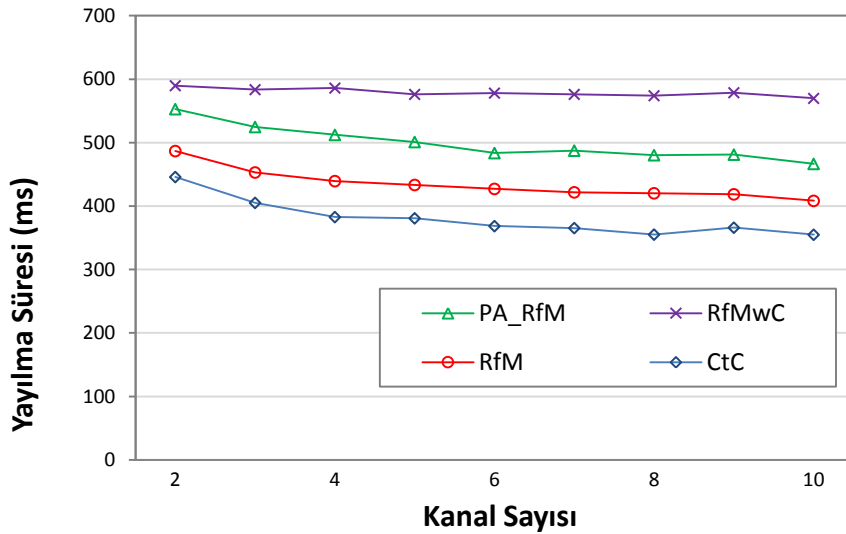
Tümegönderim mesajını kaynak düğümün yaymaya başlaması ile en son mesajı alan düğümün aldığı zaman arasındaki zaman farkı mesajın ağda ne kadar sürede yayıldığını göstermektedir. Şekil 5.6’de ve şekil 5.7’de düşük ve yüksek yoğunluklu ağlar için yayılma süreleri gösterilmiştir. “CallToChannel” stratejisi en düşük yayılma süresine sahiptir. Bunun sebebi stratejinin mesajı bütün düğümlere ulaştırmadan daha erken sonlanmasıdır. Aradaki zaman farkının çok büyük olmasının sebebi ise “CallToChannel” stratejisinin aralardan yol bulmasıdır. “RequestForMsg” stratejisi bütün düğümlere ulaşmaktadır ve diğer bütün düğümlere ulaşan stratejilerden daha kısa sürmektedir. Yalnız “RequestForMsg” stratejisinin maliyeti diğer bütün düğümlere ulaşan stratejilerden daha yüksektir. Bütün düğümlere ulaşan diğer stratejiler “sayaç tabanlı tümegönderim” özelliğinden yararlandıklarından bazı düğümler tümegönderim mesajını doğrudan iletmemektedirler. Sonradan istek gelirse tümegönderim mesajını gönderirler. Dolayısıyla göndermeleri gereken bazı zamanlarda tasarruf yapmak amacıyla hemen

göndermezler ve istek geldiğinde gönderirler. Bu tasarruf işlemi de gecikmeye sebep olmaktadır. Kanal seçimi sırasında “birincil kullanıcı farkındalığı”na başvurulduğunda ise çakışmalar azaltılarak yayılma süresi düşmektedir.

Yüksek yoğunluklu ağda daha fazla mesaj gönderimi yapıldığından ağa yayılma süreleri daha fazladır. Daha fazla iletim olduğundan “PA_RfM” stratejisi için “sayaç tabanlı tümegönderim” özelliğinin gecikmeye olumsuz katkısı, “birincil kullanıcı farkındalığı” özelliğinin olumlu katkısını geçmektedir. Bundan dolayı RA_RfM yayılma süresi için en iyi strateji değildir.



Şekil 5.6 : Yayılma süresi (düşük yoğunluklu ağda).



Şekil 5.7 : Yayılma süresi (yüksek yoğunluklu ağda).

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada tasarsız kavramsal radyo ağlarında tümegönderim yöntemi üzerine çalışılmıştır. Geleneksel tasarsız radyo ağları verimsiz spektrum kullanımına bağlı olarak yerini tasarsız kavramsal radyo ağlarına bırakacaktır. Tasarsız ağlarda tümegönderim işlemi vazgeçilmez bir gerekliliktir. Bütün düğümlerin bilmesi gereken, birbirleri ile paylaşmaları gereken mesajlar olacaktır.

Bu konudaki daha önceki çalışmalardan daha gerçekçi bir ortam göz önüne alınmıştır. Birincil kullanıcı ile çakışmalar, veri kanallarındaki birincil kullanıcı etkinliği, düğümlerin kanal değiştirme süreleri, düğümlerin bir kanalda buluşmak için harcadıkları efor hesaba katılmıştır; düğümlerin ağ hakkında bilmesi gereken bilgi düzeyi makul tutulmaya dikkat edilmiştir.

Tasarsız kavramsal radyo ağları üzerinde yapılan çalışmaların çoğunda kontrol kanalı kullanılmıştır [27]. Yaptığımız bu çalışmada da dış bant kontrol kanalı kullanılmış, düğümlerin iki adet radyo modülleri bulunduğu varsayılmıştır. Donanım maliyetlerinin gün geçtikçe azalması, yönlendirme algoritmalarında da dış bant kontrol kanalı kullanımının başarıyı arttırmasından dolayı dış bant kontrol kanalı kullanılmıştır ve bu kanala ayrı bir radyo modülü atanmıştır.

Kontrol kanalı tümegönderim mesajlarını iletmek için bir seçenek gibi görülebilir. Yalnız kontrol kanalında oluşabilecek tıkanıklık bütün veri iletimini engelleyeceğinden kontrol kanalındaki tıkanıklık kabul edilemez. Büyük mesajların kontrol kanalı üzerinden gönderilmesinde kontrol kanalının tıkanacağı aşikârdır. Önerilen algoritmada kontrol kanalı üzerinden sadece kontrol mesajları iletilmektedir. Eğer tümegönderilmek istenen mesaj bir kontrol mesajı kadar veya kontrol mesajından daha küçük ise kontrol kanalından tümegönderim önerilen algoritmaya göre daha avantajlı olacaktır.

Önerilen yöntem simülasyon sonuçları ile desteklenmiştir. Tümegönderim mesajının ulaşılabilirliğinde büyük başarı sağlanmıştır, ağdaki düğümlerin %99.9'una erişilebilmektedir. Ayrıca yaratılan mesaj miktarında da azalma sağlanmıştır. Gecikme miktarları da değerlendirilmiş, karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Önerilen

yöntemin özellikleri eksilterek farklı yöntemler yaratılmıştır ve hangi özelliğin nasıl katkı sağladığı görülmüştür.

6.1 Öneriler

Tümegönderim sırasında ağda yoğunluk yaşanmaktadır. Tümegönderim mesajını iletecek düğümlerin farklı kanallar seçmesi çakışmayı düşürecek ve iletim başarısını artıracaktır. Düğümler kapsama alanlarındaki düğümlerin kontrol kanallarından yaptıkları iletimleri dinleyebilmektedir. Dolayısıyla bir düğüm hangi komşusunun hangi kanaldan mesaj ileteceği bilgisine sahiptir. Kendi ileteceği kanalın seçimini yaparken kontrol kanalından edindiği bu bilgiyi de kanal seçmede kullanabilir.

Simülasyonda tümegönderim yapılacak kanal seçiminde sadece birincil kullanıcıların o kanalda görülme sıklığı bilgisi kullanılmıştır. Çok daha geniş istatistiksel bilgiler çıkartılarak daha iyi kanallar seçebilen yöntemler kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Mitola, J. III**, (1999). Cognitive radio: making software radios more personal, *IEEE Personal Communications*, Cilt. 6, no. 4, Sf. 13-18.
- [2] **McHenry, M. A., Tenhula, P. A., McCloskey, D., Roberson, D. A. ve Hood C. S.** (2006). Chicago spectrum occupancy measurements & analysis and a long-term studies proposal, Proceedings of TAPAS '06, NY, ABD, ACM.
- [3] **FCC 03-322A1**, (2003). Facilitating opportunities for flexible, efficient, and reliable spectrum use employing cognitive radio technologies, notice of proposed rule making and order, *Federal Communications Commission*, Washington, ABD.
- [4] **Url-1** <<http://www.ieee802.org/22/>> , alındığı tarih: 21.10.2011.
- [5] **Akyildiz, I.F., Lee, W.Y., Vuran, M.C. ve Shantidev, M.** (2006). NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey, *Computer Networks Journal*, Elsevier, Cilt 50, sayı. 13, Sf.2127–2159.
- [6] **Perkins, C. E., ve Royer, E. M.** (1999). Ad-hoc on-demand distance vector routing, Proceedings of WMCSA'99, *Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, New Orleans, LA, USA, Sf. 90-100.
- [7] **Johnson, D. B., ve Maltz, D. A.** (1996). Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks, *Proceedings of Mobile Computing*, Sf. 153-181.
- [8] **Bar-Yehuda, R., Goldreich, O. ve Itai, A.** (1992). On the timecomplexity of broadcast in multi-hop radio networks: An exponential gap between determinism and randomization, *Journal of Computer and System Sciences*, Cilt 45, sayı. 1, Sf. 104-126.
- [9] **Bar-Yehuda, R., Israeli, A., ve Itai, A.** (1993). Multiple communication in multihop radio networks, *SIAM Journal on Computing*, Cilt 22, sayı. 4, Sf. 875-887.
- [10] **Chlamtac, I., ve Kutten, S.** (1985). On broadcasting in radio networks - problem analysis and protocol design, *IEEE Transactions on Communication*, Cilt 33, sayı 12, Sf. 1240-1246.
- [11] **Chlamtac, I., ve Kutten, S.** (1987). Tree-based broadcasting in multihop radio networks, *IEEE Transactions on Communication*, Cilt 36, sayı. 10, Sf. 1209-1223.
- [12] **Chlamtac, I., ve Weinstein, O.** (1991). The wave expansion approach to broadcasting in multihop radio networks, *IEEE Transactions on Communication*, Cilt 39, sayı. 3: Sf. 42-33.
- [13] **Ni, S.Y., Tseng, Y.C., Chen, Y.S., Sheu, J.P.** (1999). The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network, *Proceedings of the 5th annual*

ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking, Seattle, Washington, United States, ACM, Sf. 151- 162.

- [14] **Tseng, Y.C., Ni, S.Y., ve Shih, E.Y.** (2001). Adaptive approaches to relieving broadcast storms in a wireless multihop mobile ad hoc network, *Proceedings of the 21st International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*. Sf. 481-488.
- [15] **Chen, C., Hsu, C.K., ve Wang, H.K.** (2005). DISCOUNT: A hybrid probability-based broadcast scheme for wireless ad hoc networks, *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference (ITC)*, 4, Sf. 2706 - 2710.
- [16] **Yang, C.C. ve Chen, C.Y.** (2003). Reduction of the broadcast redundancy by location awareness in mobile ad hoc networks, *Journal of Computer Communications*, Vol. 26, No. 18, Sf. 2082-2089.
- [17] **Williams, B., ve Camp, T.** (2002). Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks, *Proceedings of the Third ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing*, New York, NY, USA, ACM, Sf. 194-205.
- [18] **Kondareddy, Y. R., ve Agrawal, P.** (2008). Selective broadcasting in multi-hop cognitive radio networks, *Proceedings of the Sarnoff Symposium*, Princeton, NJ, USA, IEEE, Sf. 1-5.
- [19] **Arachchige, C. J. L., Venkatesan, S., Chandrasekaran, R., ve Mittal, N.** (2011). Minimal Time Broadcasting in Cognitive Radio Networks, *Proceedings of the 12th international conference on Distributed computing and networking*, Bangalore, India, Springer-Verlag, Sf. 364–375.
- [20] **Hsu, A., Wei, D., ve Kuo, C.** (2007). A cognitive MAC protocol using statistical channel allocation for wireless ad-hoc networks, *Proceedings Wireless Communications and Networking Conference*, IEEE, Sf. 105–110.
- [21] **Quan, Z., Cui, S., ve Sayed, A.H.** (2008). Optimal linear cooperation for spectrum sensing in cognitive radio networks, *IEEE Journal of Selected in Signal Processing* 2 (1). Sf. 28–40.
- [22] **Shiang, H.P., ve van der Schaar, M.** (2008). Delay-sensitive resource management in multi-hop cognitive radio networks, *Proceedings of the IEEE DySPAN*, Chicago, IL, USA.
- [23] **Khalife, H., Ahuja, S.S., Malouch, N., ve Krunz, M.** (2008). Probabilistic path selection in opportunistic cognitive radio networks, *Proceedings of the IEEE Globecom*. New Orleans, LO, USA.
- [24] **Zhao, Q., ve Sadler, B.M.** (2007). A survey of dynamic spectrum access: signal processing, networking, and regulatory policy, *IEEE Signal Processing Mag.*, Cilt 4, sayı. 3, Sf. 79–89.
- [25] **Url-2** <<http://wiki.uni.lu/secan-lab/802.11+Network+Simulator.html>>, alındığı tarih: 27.10.2011.

- [26] **Yang, L., Cao, L., ve Zheng, H.** (2008). Proactive channel access in dynamic spectrum network. *Physical Communication* Cilt 1, sayı. 2, Sf. 103-111.
- [27] **Akyildiz, I. F., Lee, W.-Y., ve Chowdhury, K. R.** (2009). CRAHNs: Cognitive radio ad hoc networks. *Ad Hoc Networks*, Cilt 7, sayı. 5, Sf. 810 – 836.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Orçun ERTUĞRUL

Doğum Yeri ve Tarihi: Muğla / 19.06.1984

Adres: Erenköy Mah. Şehit Şakir Elkovan Sok. No:16-1 D:16 Kadıköy/İstanbul

E-Posta: orcunertugrul@gmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi – Bilgisayar Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Evoline TR (2007 Nisan – 2008 Nisan)

- C# Form tabanlı sipariş sistemi geliştirilmesi

Tubitak UEKAE (2008 Nisan - ...)

- AKİS'e (Akıllı Kart İşletim Sistemi) PKCS#11 sürücülerinin geliştirilmesi
- Elektronik İmza Kütüphanesi geliştirilmesi, kullanıcılarına destek-eğitim verilmesi

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Ertuğrul O.**, Buzluca F., 2011: An Efficient Broadcasting Scheme for Cognitive Radio Ad Hoc Networks. *International Conference on Cognitive Radio and Advanced Spectrum Management*, October 26-29, 2011, Barcelona, Spain