

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR İÇİN AKILLI ANTEN TABANLI SEKTÖREL TARAMA PROTOKOLÜNÜN OMNeT++ İLE MODELLENMESİ

¹Kerem KÜÇÜK

¹Halil YİĞİT

²Adnan KAVAK

¹ Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi,
Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Umuttepe Kocaeli
² Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Veziroğlu Kampüsü, Kocaeli

e posta: [kkucuk](mailto:kkucuk@kou.edu.tr), [halilyigit](mailto:halilyigit@kou.edu.tr), [akavak](mailto:akavak@kou.edu.tr)}@kou.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, kablosuz algılayıcı ağlar (KAA) için düğüm yönetimi ve konum tahmini problemlerini çözmeye yönelik oluşturulmuş olan sektörel tarama (ST) protokolünün nesneye yönelik modüler ayrık zaman simülatörü olan OMNeT++ ile modellenmesi ele alınmaktadır. Sektörel tarama protokolü merkezi düğümde akıllı anten (AA) özelliğinin varlığına dayanmaktadır. Akıllı anten istenilen bölgeye istenilen genişlikte görev bölgesi ışını ve yönlendirme ışını olarak adlandırılmış iki adet anten örüntüsü yönlendirerek yalnızca ilgili bölgedeki düğümler ile haberleşme kurar. Böylelikle merkezi düğümde önemli kapasite ve performans artırımı sağlayarak kablosuz algılayıcı ağlarda gerek ağda oluşan trafiğin azaltılması gerekse de düğümlerin enerjilerinin efektif bir biçimde kullanılmasını sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz algılayıcı ağlar, akıllı anten, sektörel tarama, OMNeT++

1.Giriş

Son beş yıl içerisinde, kablosuz haberleşme ve sayısal elektronikte gerçekleştirilen ilerlemeler düşük güçlü, ucuz maliyetli, birçok fonksiyona sahip ve kısa mesafelerde kablosuz olarak haberleşebilen algılayıcı düğümlerin oluşturulmasına olanak sağlamıştır [1]. Algılama işlemi, veri işleme ve iletişim birimlerinden meydana gelen bu algılayıcı düğümlerin hep birlikte davranması kablosuz algılayıcı ağların (KAA) temelini oluşturmaktadır. KAA, algılama yapılacak olan olayların içerisine veya çok yakınına yerleştirilen çok sayıda algılayıcı düğümlerden meydana gelmektedir. Algılayıcı düğümlerin temel anlamda önceden bilinmesine ve tahmin edilmesine gerek yoktur. Bu sayede bilgi iletiminin gerekli fakat zor olduğu durumlarda bölgeye rasgele yerleştirilebilirler. Bu rasgeleliğe rağmen, algılayıcı ağ protokollerinin ve algoritmalarının kendi kendilerini örgütleyebilen bir

yapıda olmaları gerekmektedir. KAA'nın en temel özelliklerinden birisi de algılayıcı düğümlerin ortak çalışma yapabilmeleridir. Düğümler aldıkları verileri işlenmek üzere doğrudan göndermek yerine kendi işlem yetenekleriyle sınırlı kalmak üzere basit hesaplamaları yapar ve sadece gerekli verileri gönderirler.

KAA'ların birçok uygulamasında, yerleştirilmiş düğümlerin sayısından dolayı her bir düğüme genel tanımlayıcı atamak uygun değildir. Bu yüzden, yerleştirilmiş olan bölgede veri belirgin bir fazlalık ile her bir algılayıcı tarafından iletilir. Bu durum algılayıcı düğümlerin kümesini seçecek ve göz önüne alınan verinin anahtarlanması sırasında veri toplamayı kullanacak olan yönlendirme protokolleri ve enerji tüketimi cinsinden çok olumsuz bir durumdur. Bu olumsuzluklar ile oluşan yeni protokollerin tasarlanması gereksinimi araştırmacıları KAA'da yönlü ve akıllı anten kullanımına yönelmiştir.

Bir akıllı anten sistemi (AAS), genel olarak RF katında çoklu anten ve buna karşılık çoklu alıcı-verici birimi ile temel banttaki akıllı anten işlemci biriminden oluşur [2]. AAS'leri hücresele telefon sistemlerindeki aynı kanal parazitini bastırarak kapasite artırma ve kapsama alanını genişletmeye imkân tanıyan son on yılda araştırmacıların ilgisini çeken bir teknoloji olmuştur. Akıllı anten sistemler CDMA gibi parazit sınırlı sistemler için daha verimli bir şekilde çalışabilmektedir ve bundan dolayı WCDMA tabanlı 3G kablosuz haberleşme sistemleri için anten teknolojisi olarak öngörülmüştür. Akıllı anten sistemler anahtarlamalı ışın yapısı ve uyarlamalı anten dizisi olarak iki ana grupta toplanır. Anahtarlamalı ışın yapısında, önceden belirlenmiş yönlere ve ışın genişliklerinde belirli sayıdaki anten örüntüleri oluşturulur. Bu anten sistemleri, gerçek bir iletim için en iyi işaret-gürültü oranını bulmada sabit birkaç ışından yalnızca birini seçer. Anahtarlanmış ışın sistemleri çoklu anten çıkışlarını birleştirir. Hareketli kullanıcı bir hücre içerisinde dolaşırken hangi örüntüden alınan sinyal seviyesi en güçlü ise o

örüntüye anahtarlanır. Bu yolla önceden belirlenmiş birkaç anten örüntüsünden biri seçilir. Uyarlamalı anten teknolojisi günümüzde en iyi akıllı anten yaklaşımını sunar. Temel fikir, girişimi en aza indirmek ve de SNR ve kazancı maksimum yapmak için dinamik olarak en iyi etkin anten örüntüsünü üretmektir. Örüntüleri şekillendirmek için anten dizilerinin her bir elemanın ağırlık katsayılarını teker teker kontrol etmek gerekir. Bu ışın şekillendirme olarak adlandırılır. Uyarlamalı anten dizisi yukarı bağlantı sırasında her bir kullanıcıdan alınan sinyale bakılarak o kullanıcıya ait örüntüyü dinamik olarak değiştirilebilir. Uyarlamalı yapıda istenilen kullanıcı sinyalini maksimize edilebileceği gibi istenmeyen parazit kullanıcılar yönünde boş örüntü oluşturacak şekilde de örüntü sağlanabilir.

Görev dağılımı ve konum tahmini yapabilen Sektörel tarama (ST) protokolü merkezi düğümde akıllı anten kullanır [3]. ST protokolü, yukarı bağlantıda algılanacak olan alana yayılmış olan tüm düğümler yerine azimut açısı (ışın yönü ve ışın genişliği) ve algılanacak bölgenin tahmini alan bilgisi alınan sinyal gücü göstergesi (Received Signal Strength Indicator, RSSI) kullanılarak elde edilen özelleştirilmiş olan bölgedeki düğümlere görev dağılımı yapar. Böylelikle görev dağılım için düğümler arasında hiçbir atlamalı haberleşme gereksinimi doğmaz. Bununla birlikte ST düzeni, özelleştirilmiş bölgedeki düğümlerin gönderdiği yanıt mesajları sayesinde merkezi düğüme göre düğümlerin konum tahminini de sağlamaktadır. Uzaklık bilgisi ise veri paketi içerisindeki RSSI kullanılarak tahmin edilebilmektedir.

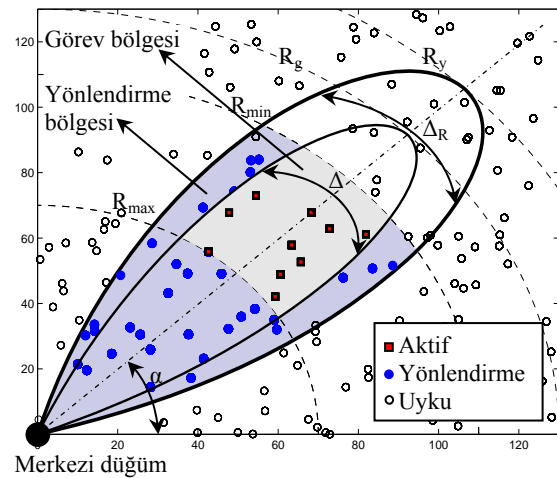
OMNeT++ nesneye yönelik modüler ayrı zaman simülatorüdür [4]. Simülator haberleşme ağlarının trafik modellemesinde, protokol modellenmesinde, çok işlemcili ve dağıtılmış donanımsal sistemlerin modellenmesinde, karmaşık yazılım sistemlerinin performanslarının iyileştirilmesinde ve ayrı zaman uyumlu tüm sistemlerin modellenmesinde kullanılabilir. OMNeT++ hiyerarşik olarak iç içe yerleştirilmiş modüller içermektedir. Modüller birbirleriyle mesajlar vasıtası ile haberleşirler. Mesajlar isteğe bağlı olarak karmaşık veri yapıları içerebilmektedirler. Modüller mesajları doğrudan hedeflerine veya önceden belirlenmiş yollar boyunca kapılar ve bağlantı noktalarından geçerek gönderirler. Modüller kendi parametrelerine sahiplerdir. Parametreler modülün davranışını uygunlaştırmak ve modelin topolojisini parametreler cinsinden ifade etmek için kullanılırlar. Modül hiyerarşisinin en alt düzeydeki modülleri davranış ile sarmalanmıştır. Bu modüller basit modül olarak adlandırılırlar ve simülasyon kütüphanesi kullanılarak C++ ile programlanırlar.

OMNeT++ oluşturulmak istenilen sistemin yapısını açıklamak için kullanıcıya yönelik uygun araçlar sunmaktadır. Bu araçlar, içi içe gömülmüş modüller,

modül tiplerinin örnek modülleri, modüllerin mesajlar ile kanallardan haberleşmesi, esnek modül parametreleri, topoloji açıklama dilini içermektedirler. OMNeT++ modelleri genellikle ağlar olarak isimlendirilirler. En üst seviyedeki modül sistem modülü olarak adlandırılır. Sistem modülü aynı zamanda kendi içerisinde de alt modüller içeren alt modüllerden oluşmaktadır. İç içe modüllerin yerleştirilmesinde herhangi bir sınırlandırma yoktur. Bu özellik kullanıcıya model yapısı içerisinde mevcut sistemin mantıksal yapısının oluşturulmasında yardımcı olmaktadır. Model yapısı OMNeT++'ın NED dili ile tanımlanmaktadır.

2. Sektörel Tarama Protokolü

Sektörel tarama protokolü AAS'nin merkezi düğümde kullanılmasına dayanan yeni bir veri sorgulama (görev yönetimi) ve konum belirleme tekniğidir. Akıllı antenin merkezi düğümde kullanılması, yönlü antenlerin algılayıcı düğümlere yerleştirilmesini öneren birçok yaklaşımdan daha mantıklı ve KAA'lar için daha gerçekleştirilebilir bir yapıdır. ST protokolünde, bilgi alınmak istenilen bölgeye ait (görev bölgesi) anten örüntüsü parametreleri (örüntü yönü- α ve genişliği- Δ , alınan işaret gücünün minimum ve maksimum değerleri- R_{min} ve R_{max}) belirlenerek örüntü bu yöne doğru oluşturulur ve aşağı bağlantı sırasında istenilen görev mesajları sadece bu bölgedeki düğümlerden istenir (Şekil 1). Bu sayede tüm arazideki düğümlerin aktif hale getirilmesi yerine seçilen bölgedekiler aktif hale getirilmiş olur. Aktif düğümler tarafından yukarı bağlantı sırasında gönderilen cevap mesajındaki *Task_id* ve *Node_id* kısmına bakılarak hangi düğümlerin bu bölgede olduğu (merkezi düğüme göre konumu) belirlenir. Ayrıca, alınan paketlerdeki RSSI bilgisine bakılarak da ilgili düğümün mesafesi belirlenir. Böylelikle, bir düğüme ait kabaca elde edilen yön bilgisi ve uzaklık



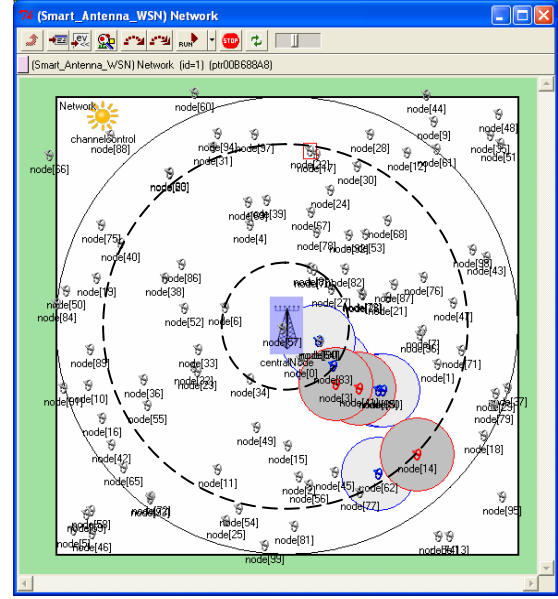
Şekil 1. Akıllı anten özelliğine sahip kablosuz algılayıcı ağı görünümü. ($R_{min}=110$, $R_{max}=70$, düğüm sayısı=200).

bilgisi sayesinde o düğümün konumu belirlenir. Bu yöntem kabaca bir konum belirlemesi yapmasına rağmen, GPS tabanlı, beacon tabanlı, beacon olmadan kullanılan diğer konum belirleme yöntemlerine göre daha basit ve pratik bir yöntemdir [5].

Mevcut KAA uygulamalarında, algılayıcı düğümler bir olaya ait algılamayı sürekli yapmak üzere her zaman aktif durumdadırlar. ST protokolü ise istenilen bölgedeki algılayıcı düğümleri istendiği zaman aktif duruma getirir. Bu amaçla bir düğümdeki algılayıcı birim ve radyo alıcı-verici birimlerinin çalışması bu protokolle yönetilir. İhtiyaç duyulduğunda düğümlerin algılayıcı birimleri ve radyo birimleri açık konuma getirilir. Ağdaki yedek ve fazladan olan verinin sürekli aktif konumdaki algılayıcılardan kaynaklandığı düşünülürse bu protokol sayesinde aktif düğüm sayısı azaltılacağından kazanımlar elde edilir. ST protokolü ile çoklu görevler aynı anda iletebilir ve bu görevlere ait bölgeler çakışabilir. Örneğin, aynı düğüm üzerindeki hem nem hem de sıcaklık algılayıcıları farklı iki görev için aynı anda kullanılabilir. Farklı ve birbirine komşu iki örüntünün kesişme noktasındaki algılayıcılar doğal olarak birden fazla görev yüklenmiş durumda olacaktır. Herhangi bir görev için, bir algılayıcı düğüm esas olarak aktif ya da yönlendirme modunda çalışır. Kesişme bölgesindeki düğümler ise çoklu modda çalışabilir.

3. Sektörel Tarama Protokolünün OMNeT++ ile Modellenmesi

Sektörel tarama protokolünün OMNeT++ kullanarak modelini oluşturma aşamasında ilk olarak ağın modellenmesinde GNED editörü kullanıldı. Bu editör kullanılarak, modüllerin hiyerarşik yapısı, grafiksel ara yüzleri ve davranış atamaları yapılmıştır. GNED editörü ile modellenmiş sektörel tarama protokolünü içeren ağın görünümü Şekil 2'de verilmiştir. Buna göre ağın ortasındaki merkezi düğüm akıllı anten yeteneğine sahip ve istenilen yönde istenilen genişlikle anten örüntüsü oluşturabilmektedir. Simülasyon alanının ölçüleri *omnetpp.ini* dosyasında ifade edilen *playgroundSizeX* ve *playgroundSizeY* değişkenleri tarafından tanımlanmaktadır ve 500x500 birimlik bir bölge seçilmiştir. Simülasyondaki her bir algılayıcı düğümün başlangıç konumu *mobility.x* ve *mobility.y* değişkenlerinin değiştirilmesiyle ayarlanabilmektedir. Eğer *omnetpp.ini* dosyasında bu değerler belirtilmezler ise düğümler alana rasgele dağıtılırlar. Simülasyonda düğümler rasgele yerleştirilmiştir. *CentralNode* olarak adlandırılan merkezi düğümün kapsama alanı, yarıçapı 250 birim olan bir daire ile temsil edilmiştir ve bu değerler GNED editöründe belirtilmiştir. Kesikli çizgilerden oluşan büyük dairenin yarıçapı 200 birimdir ve R_{min} seviyesini temsil etmektedir. Küçük dairenin yarıçapı da R_{max} seviyesini göstermektedir ve değeri 70 birimdir. Bununla birlikte anten örüntüsü 45° ye yönlendirilmiştir. Yönlendirme ışını için $\Delta_R=90^\circ$,



Şekil 2. OMNeT++ ile modellenmiş sektörel tarama protokolüne sahip kablosuz algılayıcı ağın görünümü ($R_{min}=200$, $R_{max}=70$, düğüm sayısı=100).

$R_y=250$ birim ve görev ışını için ise $\Delta=60^\circ$, $R_g=220$ birim olarak seçilmiştir. Bu parametreler ışığında görev bölgesine düşen düğümler kırmızı rengi, yönlendirme bölgesine düşen düğümler ise mavi rengi almaktadır. Bu bölgelerden herhangi birine düşmeyen düğümler ise gri renktedirler ve uyku modundadırlar. Bu düğümlerin hangi bölgelere düştüğü *Mobility* modülünde bulunmaktadır. Düğümlerin kapsama alanları da aktif ya da yönlendirme bölgesindeki düğümlerin etrafındaki küçük dairelerle temsil edilmektedir. Bu parametrelere göre belirlenen alanlara 3 adet aktif bölgede, 5 adette yönlendirme bölgesinde olmak üzere toplam 8 adet düğüm düşmüştür. Bu düğümler vasıtasıyla istenilen bölgedeki veriler merkezi düğüme iletilirler. Görev bölgesine düşen düğüm sayıları ile ilgili analitik modeli aşağıdaki gibidir [3]:

$$P_{n_i} = \frac{A_{task}}{\pi R_g^2} \quad (1)$$

Burada P_{n_i} , A_{task} ile belirtilen görev bölgesine bir düğümün düşme olasılığını verir. R_g ise oluşturulacak olan hüzenin yarıçapını temsil etmektedir. Bununla birlikte belirlenen görev bölgesine farklı sayılarda düğüm düşebilme olasılığı hesaplanmıştır.

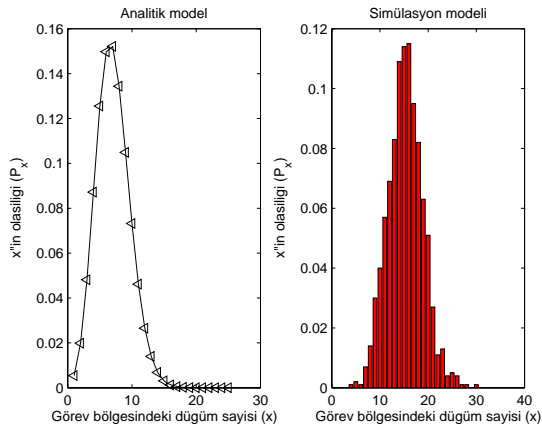
$$P_x = \binom{N}{x} (1 - P_{n_i})^{N-x} (P_{n_i})^x \quad (2)$$

Burada,

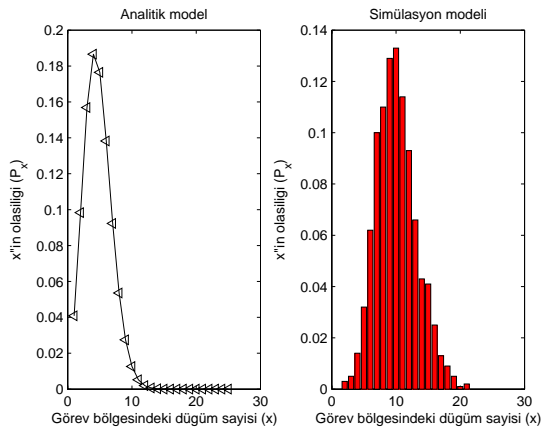
$$\binom{N}{x} = \left(\frac{N!}{(N-x)!x!} \right) \quad (3)$$

ile belirtilmektedir. Bu analitik model doğrultusunda,

farklı ışın örüntüleri ile belirlenen görev bölgelerine düğüm düşme olasılıkları ile beraber aynı anten parametrelerine sahip simülasyon ortamında elde edilen görev bölgesine düşmüş düğüm sayılarının dağılımları Şekil 3,4 ve 5'te sırasıyla verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında, sektörel tarama protokol ile belirlenen görev bölgesine düğüm düşme olasılığı $\Delta=45^\circ$ için %16 ile 9 adet, $\Delta=30^\circ$ için %19 ile 6 adet, $\Delta=22.5^\circ$ için %22 ile 4 adet düğüm düşme olasılığı analitik model ile elde edilmiştir. Elde edilen analitik model sonuçlarının gerçekleştirilen simülasyonlar ile desteklendiği görülmektedir. Buna göre, $\Delta=45^\circ$ için %11 ile 16 adet, $\Delta=30^\circ$ için %13 ile 12 adet ve $\Delta=22.5^\circ$ için %15 ile 8 adet düğüm düştüğü gözlemlenmiştir.

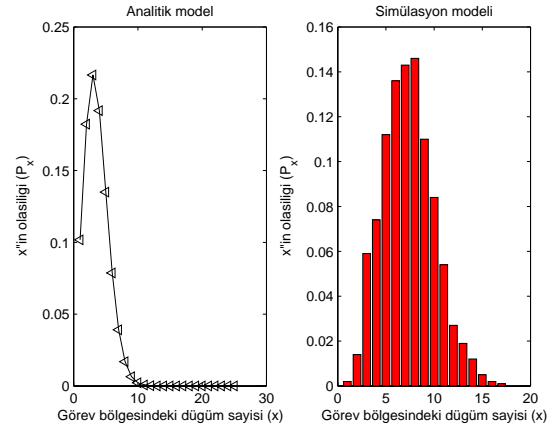


Şekil 3. $\Delta=45^\circ$ ışın genişliği ile belirlenen görev bölgesine düşen düğüm sayısı olasılığının analitik modeli ile simülasyon modelinin karşılaştırılması ($R=80$, $R_{\min}=70$, $R_{\max}=30$, düğüm sayısı=170).



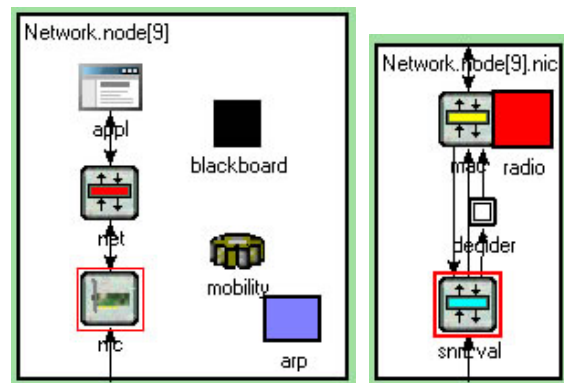
Şekil 4. $\Delta=30^\circ$ ışın genişliği ile belirlenen görev bölgesine düşen düğüm sayısı olasılığının analitik modeli ile simülasyon modelinin karşılaştırılması ($R=80$, $R_{\min}=70$, $R_{\max}=30$, düğüm sayısı=170).

Bununla birlikte, kullanılan her bir düğümde modül yapısı olarak OMNeT++'ın Hareketlilik Çatısı (Mobility Framework) kullanılmıştır. OMNeT++ hareketlilik çatısı kablosuz ve hareketli olan sistemlerin simülasyonlarını gerçekleştirmek için



Şekil 5. $\Delta=22.5^\circ$ ışın genişliği ile belirlenen görev bölgesine düşen düğüm sayısı olasılığının analitik modeli ile simülasyon modelinin karşılaştırılması ($R=80$, $R_{\min}=70$, $R_{\max}=30$, düğüm sayısı=170).

kullanılabilir. Düğüm hareketliliği, dinamik bağlantı yönetimi ve kablosuz kanal için model desteği içermektedir [6]. Hareketli bir düğümün iç yapısı Şekil 6'da gösterilmiş olup, bu yapıda ISO/OSI katmanları standardından farklı olarak *Mobility* modülü ve *Blackboard* olarak isimlendirilen modüller bulunmaktadır. *Mobility* modülü hareketli düğümün coğrafi pozisyonunu bulur ve onun hareketlerini işler. *Blackboard* modülü katmanlar arası çapraz haberleşme için kullanılır. Hareketlilik mimarimizin çekirdek bileşeni genel *ChannelControl* modülü ile birlikte bağımsız *Mobility* modülüdür. *Mobility* modül ana görevlerinden birisi düğümün hareketlerini işletmektir. *ChannelControl* modülü düğümler arasındaki tüm muhtemel bağlantıları kontrol ve idame eder, birbirlerine engel olabilecek düğümler arasında bağlantı oluşturarak kontrollü haberleşme sağlar. Kablosuz ağ simülasyonlarında, sadece, iki düğümün birbirlerine bağlanıp bağlanmadığı değil, aynı zamanda iki düğümün birbirlerine müdahale edip etmedikleri de önemlidir. Bu modül kanalın taşıyıcı frekansına, mümkün olan azami gönderme gücüne ve diğer ağ parametrelerine dayanarak maksimum girişim mesafesini belirler.



Şekil 6. Hareketli bir düğümün alt modülleri ve iç yapısı.

ST protokolünün simülasyonunda düğümlerin davranışları ağ katmanında klasik taşıma iletişim kuralını kullanmak üzere C++ ile programlanarak belirtilmiştir. Bu iletişim kuralına göre görev ve yönlendirme bölgesi içerisinde bulunan düğümler elde edilen veriyi tüm komşularına yayarlar. Bu durumda veri merkezi düğüme kadar iletilecektir. Ancak burada veriye sahip olabilen düğümler görev bölgesindeki düğümlerdir. Yönlendirme bölgesindeki düğümler yalnızca yönlendirme yapabilmektedirler. Veri algılama işlemi OMNeT++'ın sunduğu kendi kütüphanesi ile aktif bölgedeki düğümlerden birinin rasgele *Host* seçilmesi ve onun rasgele bir veri algılanması sağlanmıştır. Algılanan veri tüm katmanlarda gönderme durumunda kapsülleme, alım esnasında da tersi işleme tabii tutulmaktadır.

4. İlgili Çalışmalar

Kablosuz algılayıcı ağlarda, anten kullanımı, akıllı anten konfigürasyonu, konum bilgisine sahip yönlendirme protokolleri konularında halen aktif olarak çalışılmaktadır. Bu bölümde, enerji korunumu ve trafik yoğunluğunun azaltılması açısından yönlü ve akıllı anten kullanan çalışmaları özetleyeceğiz.

Kablosuz algılayıcılarda akıllı antenin özelliklerinden yararlanma fikri son iki yıl içinde göz önüne alınmaya başlanmıştır. Bu doğrultudaki, ilk çalışmalardan birinde algılayıcı ağlarda, algılanan olayı veri merkezine gönderilmesi için akıllı anten kullanan yeni bir yönlendirme algoritması sunulmuştur [7]. Bu protokoldeki katkı, basit bir kurulum aşamasında her bir düğüm veri iletiminde baz istasyonuna doğru, veri alımında ise tam ters yönde ışın kullanarak yalnızca yerel bilgiyi ve düğümler arasındaki koordinasyon eksikliğinin tamamını kullanmasıdır. Ağdaki artık veri trafiğini azaltan ve ağın yaşam süresini artıran sektörel tarama protokolü, görev dağılımı ve konum tahmini yaparken merkezi düğüme akıllı anten kullanan ilk çalışmalardandır [3]. Bu protokol, istenilen bölgedeki olayları algılayacak düğümleri, minimum ve maksimum kabul edilebilir sinyal seviyeleri ile belirli bir örüntü yönüne ve genişliğe sahip görev bölgesi oluşturarak aktif moda getirilmesi için aşağı bağlantı sırasında seçici olarak düğümlere görev sorgu mesajlarını göndermesi temeline dayanmaktadır. Böylece, ST çok atlamalı görev iletimine olan ihtiyacı ortadan kaldırır, ağda oluşan fazla trafik ve görev sorgu mesajlarını azaltır ve sonuçta düğüm ömrünün uzamasını sağlar. KAA'da akıllı anten ağın topolojisinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır [8]. Buna göre, hem ağın yönetiminde hem de uygulamanın performans tahmini için kesin ağ topolojisi bilgisinin önemli olduğu durumda algılayıcı ağların hangi topolojiyi kullanacağına akıllı anten kullanarak karar verilir. Topoloji isteğini alan düğüm ağdaki her bir düğümden topoloji ile ilgili tüm bilgileri toplar ve bağlantı bilgi veri tabanı inşa eder.

Merkezi düğüme akıllı anten kullanan başka bir çalışmada ise yeniden ayarlanabilen aktif akıllı anten temeline dayanan kablosuz algılayıcı sunucusu geliştirilip, sunulmuştur [9]. Bu sistem haberleşme ortamının gerektirdiği donanımın en iyi şekilde kullanımının aktif hale getirilmesi için mikser uygulanan yerel osilatörün frekansının değiştirilmesi ile hem ardı ardına dizilmiş dizi alıcı vericisi hem de akıllı anten alıcısına hizmet verebilmektedir. Kablosuz algılayıcı ağlarda, rasgele dizi teorisinin kullanılmasıyla işbirliği ile oluşturulan ışın şekillendirme çalışmaları da yapılmıştır [10]. Buna göre her bir düğümün tek bir izotropik anteni olduğu varsayılmıştır ve hücre içindeki düğümler çok geniş bir alan içindeki hedef yönüne doğru sinyali yardımlaşarak gönderirler.

5. Sonuçlar ve Öneriler

OMNeT++ KAA'nın modellenilebildiği ayrık zaman simülatörüdür. Bu çalışmada akıllı anten kapasitesine sahip bir merkezi düğüm kullanılmıştır. Bu özelliği kullanan ST protokolünün simülasyonu OMNeT++ kullanılarak yapılmıştır. Çalışmalar göstermektedir ki, OMNeT++ kullanılarak KAA'nın modellenmesini ve buna göre ağın performansının değerlendirilmesi mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte, ST protokolünde taşıma iletişim kuralı yerine veri trafiği ve enerji korunumu bakımından daha uygun bir yönlendirme protokolünün kullanılması ST protokolünün performansını da artırabilecektir. Çalışmalar bu yönde devam etmekte olup, akıllı antenin temeline dayanan, konum bilgisine sahip, enerji tüketimini azaltarak ağın ömrünü artıran ve veri trafiğini azaltabilen bir yönlendirme protokolünün tasarlanması hedeflenmektedir.

Kaynaklar

1. K. Akkaya, and M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks", Ad Hoc Networks, vol. 3 no. 3, pp. 325-349, 2005.
2. A. Kavak, M. Torlak, W.J. Vogel, and G. Xu, "Vector Channels for Smart Antennas: Measurements, Statistical Modeling, and Directional Properties in Outdoor Environments," IEEE Tran. on Mic. The. and Tec., vol. 48, no. 6, pp. 930-937, June 2000.
3. A. Erdogan, V. Coskun, and A. Kavak, "The Sectoral Sweeper Scheme for Wireless Sensor Networks: Adaptive Antenna Array Based Sensor Node Management and Location Estimation", vol. 39, no. 4, pp. 415-433, Wireless Personal Communications, 2006.
4. OMNeT++ Community Site, "OMNeT++ Discrete Event Simulation System", <http://www.omnetpp.org>
5. A. Savvides, H. Park, and M.B. Srivastava, "The Bits and Flops of the N-hop Multilateration

- Primitive for Node Localization Problems”, Proc. 1st ACM Int. Workshop on WSNs and App., USA, pp. 112–121, 2002.
6. W. Drytkiewicz, S. Sroka, V. Handziski, A. Köpke, H. Karl, “A Mobility Framework for OMNeT++”, Telecommunication Networks Group, Technische Universität Berlin, 2003.
 7. T. Dimitriou and A. Kalis, “Efficient Delivery of Information in Sensor Networks Using Smart Antennas”, Lecture Notes in Computer Science, vol. 3121 pp. 109-122, 2004.
 8. A. Khedr and W. Osamy, “A topology discovery algorithm for sensor network using smart antennas”, Computer Communications , vol. 29, no. 12, pp. 2261-2268, Aug. 2006.
 9. R.Y. Miyamoto, et al, “Digital Wireless Sensor Server Using an Adaptive Smart-Antenna/Retrodirective Array”, IEEE T.Vehic.Tech. vol. 52, no. 5, pp.1181-1188, Sept. 2003.
 10. H. Ochiai, et al, “Collaborative Beamforming for Distributed Wireless Ad Hoc Sensor Networks”, IEEE Tr. on Signal Proc., vol.53, no.11, pp.4110-4124, Nov. 2005.