

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÖNLÜ ALGILAYICI AĞLARDA DÖNME ve HAREKET
YETENEKLERİ İLE KAPSAMA ALANININ İYİLEŞTİRİLMESİ**

M. AMAÇ GÜVENSAN

**DOKTORA TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. A. GÖKHAN YAVUZ**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÖNLÜ ALGILAYICI AĞLARDA DÖNME ve HAREKET YETENEKLERİ İLE
KAPSAMA ALANININ İYİLEŞTİRİLMESİ**

M. Amaç GÜVENSAN tarafından hazırlanan tez çalışması 16.12.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. A. Gökhan YAVUZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Bülent Örencik

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Tuna Tuğcu

Boğaziçi Üniversitesi

Prof. Dr. A. Coşkun Sönmez

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Feza Buzluca

İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2011-04-01-DOP03 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Günümüzde telsiz algılayıcı ağların kullanımı hızla artmaktadır. Sıcaklık, nem, yön vb. skaler verilerin toplanmasını hedefleyen geleneksel algılayıcı ağların kullanıldığı askeri, sağlık, tarım ve endüstriyel uygulamaların yanında, sön dönemde ses ve video gibi çoklu ortam verilerinin toplanmasını hedefleyen çoklu ortam algılayıcı ağ uygulamaları da dikkat çekmektedir. Enerji kısıtı, düşük işlem ve veri iletim hızı, hassas donanımsal yapı algılayıcı düğümlerin en temel problemleridir. Öte yandan, özellikle erişilmesi zor ve tehlikeli bölgelerde planlı yerleştirme yapılamaması düğümlerin uçak, mancınık vb. araçlarla rasgele dağıtılmasına neden olmaktadır. Uygulamanın ihtiyacına bağlı olarak izlenecek bölgeye onlarca/yüzlerce/binlerce algılayıcı düğüm atılabilmektedir. Bu düğümlerin, homojen dağılımı rasgele dağıtımda oldukça zordur. Rasgele dağıtım sonrası birçok düğümün yan yana gelmesi nedeniyle algılama alanları kesişebilmektedir. Sonuçta, bazı alanlar birden fazla düğüm tarafından kapsanırken bazı alanlar kapsanamamaktadır. Literatürde bu problem, kapsama alanı problemi olarak tanımlanmıştır. Kapsama alanı problemine getirilen çözümler, az sayıda düğüm ile en fazla alanı/hedefi kapsayabilmeyi hedeflemektedir.

Dairesel-yönlü algılama yapan geleneksel algılayıcı ağlarda kapsama alanı problemi için birçok çalışma yapılmıştır. Öte yandan, kızıl ötesi, sesüstü ve video kamera gibi yönlü algılama yapan algılayıcılarından oluşan yönlü algılayıcı ağlarda kapsama alanı problemi son yıllarda dikkat çekmiştir. Kısıtlı ve engellerden etkilenen görüş alanları, birden fazla çalışma yönünü desteklemesi nedeniyle yönlü algılayıcı ağlardaki kapsama alanı farklı çözümlere ihtiyaç duymaktadır.

Bu tez çalışmasında, yönlü algılayıcı ağlardaki kapsama alanı problemi için dönme ve hareket yeteneklerini ardışıl kullanan yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem sayesinde en az sayıda yönlü algılayıcı düğüm kullanılarak maliyetin ve çevreye verilen zararın en düşüğe tutulması sağlanmıştır. Gerçekleştirdiğimiz deney ve testlerde diğer yöntemlere göre daha fazla kapsama alanı sağlayan yöntemimizin yönlü algılayıcı ağlarda yeni bir yöntem olarak benimsenmesini ve diğer çalışmalara temel oluşturmasını umut ediyoruz.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bilgi, birikim, görüş ve önerileriyle destek olup yol gösteren değerli danışman hocam A. Gökhan YAVUZ'a, ayrıca tez sürecinde değerli fikirleri ile katkıda bulunan hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma, moral ve motivasyon desteğini esirgemeyen tüm dostlarıma çok teşekkür ederim.

Son olarak, bugünlere gelmem de büyük emeği geçen, beni hep destekleyen anne ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Aralık, 2011

M. Amaç Güvensan

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT.....	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	3
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	5
BÖLÜM 2	7
KAPSAMA ALANI PROBLEMİ ve ALGILAMA MODELLERİ.....	7
2.1 Algılama Modelleri	7
2.1.1 Dairesel-Yönlü Algılama Modeli.....	8
2.1.2 Yönlü Algılama Modeli	9
2.2 Yönlü Algılayıcılar	10
2.2.1 Video Algılayıcılar	10
2.2.2 Kızıl Ötesi Algılayıcılar	14
2.2.3 Sesüstü Algılayıcılar	16
BÖLÜM 3	17
YÖNLÜ ALGILAYICI AĞLAR.....	17
3.1 Kapsama	17
3.2 Bağlanabilirlik.....	18
3.3 Ağ Yaşam Süresi	19
3.4 Ağ Trafiği	19
3.5 Yönlü Algılayıcı Düğümlerin Karakteristik Özellikleri	20
3.5.1 Görüş Açısı	21
3.5.2 Çalışma Yönü.....	21
3.5.3 Görüş Hattı.....	22

3.5.4 Dönme Yeteneği / Hareket Yeteneği	22
BÖLÜM 4	24
YÖNLÜ ALGILAYICI AĞLARDA KAPSAMA ALANI İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ VE MEVCUT ÇÖZÜMLER.....	24
4.1 Kapsama Alanı İyileştirme Yöntemleri	24
4.1.1 Aşırı Dağıtım (<i>Redundant Deployment</i>)	25
4.1.2 Tekrar Dağıtım (<i>Redeployment</i>).....	25
4.1.3 Dönme Yeteneği / Çalışma Yönü, Algılama Yarıçapı ve Görüş Açısının Ayarlanması	26
4.1.4 Hareket Yeteneği (<i>Mobility</i>).....	26
4.1.5 Hibrit Hareket Stratejisi	27
4.2 Yönlü Algılayıcı Ağlarda Kapsama Alanı İyileştirme için Mevcut Çözümler	28
4.2.1 Hedef-tabanlı Çözümler	33
4.2.2 Alan-tabanlı Çözümler	38
4.2.3 Bağlanabilirlik Garantili Çözümler.....	44
4.2.4 Ağ Yaşam Süresi Uzatan Çözümler	45
4.3 Sonuç.....	47
BÖLÜM 5	49
YÖNLÜ ALGILAYICI AĞLARDA HİBRİT HAREKET STRATEJİSİ	49
5.1 Yönlü Algılama ve Kendi Kendine Uyum Sağlama	49
5.1.1 Grid-tabanlı Modelde Hedef-Görüş Alanı Testi	51
5.2 Hibrit Hareket Stratejisi	53
5.3 Dönme Yeteneği.....	54
5.3.1 Çekim Merkezi Algoritması	54
5.3.2 Ağırlıklı Çekim Merkezi Algoritması	60
5.3.3 Engelli Ortamda Dönme Yeteneği.....	61
5.4 Hareket Yeteneği	63
5.4.1 Pencere-tabanlı Komşu Bölge Tarama.....	64
5.4.2 Enerji-Tasarruflu Pencere-tabanlı Komşu Bölge Tarama.....	67
BÖLÜM 6	69
PERFORMANS DEĞERLENDİRME	69
6.1 Simülasyon Parametreleri.....	69
6.2 Dönme Yeteneğinin Performans Değerlendirmesi	71
6.2.1 Optimum Yerleştirme	71
6.2.2 AFUP.....	72
6.2.3 W-AFUP.....	76
6.2.4 Engelsiz Ortamda AFUP ile W-AFUP'un Karşılaştırılması.....	78
6.3 Dönme Yeteneğinin, Hareket Yeteneğinin ve Hibrit Hareket Stratejisinin Performans Değerlendirmesi.....	87
6.3.1 Enerji Tüketimi	93
BÖLÜM 7	96
SONUÇ VE ÖNERİLER	96
KAYNAKLAR.....	100

EK-A.....	108
SİMÜLASYON ORTAMI	108
A-1 Sistem Elemanlarının Özellikleri	108
A-2 Sistem Elemanlarının Davranışları	112
A-3 Sistem Parametreleri	115
ÖZGEÇMİŞ	117

SİMGE LİSTESİ

α	Görüş açısı
c	Bulanıklık dairesi
d	Açıklık
D_n	Kabul edilebilir net görüşün olduğu en yakın mesafe
D_f	Kabul edilebilir net görüşün olduğu en uzak mesafe
f	Odak Uzunluğu
F_i	İtme kuvveti
H	Odak ötesi uzunluğu
N	f-Number
q_{ij}	İki YAD'ın örtüşen alanlarındaki nokta sayısı
r_0	Birim vektörü ve kuvvetin yönü
R_s	Algılama yarıçapı
R_c	İletişim yarıçapı
S	Odak Mesafesi
T_H	Eşik Değeri
W_d	Çalışma yönü

KISALTMA LİSTESİ

AFUP	Attractive Forces of Uncovered Points
AK	Alan Kapsama
AoV	Angle of View
B	Boyut
CCD	Charge-Coupled Device
CGA	Centralized Greedy Algorithm
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CPD	Connected Point-Coverage Deployment
CRD	Connected Region-Coverage Deployment
ÇY	Çalışma Yönü
D	Dağıtık
DGA	Distributed Greedy Algorithm
DoF	Depth of Field
EA-WNE	Energy Aware Window-based Neighborhood Exploring
EDO	Equitable Direction Optimizing
EFCEA	Electrostatic Field-based Coverage-Enhancing Algorithm
E-SURF	Extended Speed-Up Robust Features
FoV	Field of View
GDA	Greedy Direction Adjusting
HHS	Hibrit Hareket Stratejisi
HMS	Hybrid Movement Strategy
HK	Hedef Kapsama
KK	k-kapsama
KÖ	Kızılötesi
LoS	Line of Sight
M	Merkezi
MAC	Medium Access Control
MAM	Motility Assisted Mobility
MCN	Maximally be Covered Number
MCMS	Maximum Coverage with Minimum Sensors
MDAC	Maximum Directional Area Coverage
M/D	Mevcut Değil
Nİ	Nesne İzleme
NSS	Neighbors Sensing Scheduling

PKÖ	Pasif Kızılötesi
OCDSN	Optimal Coverage Problem in Directional Sensor Networks
OGDC	Optimal Geographical Density Control
SA	Simulated Annealing
SA-ACE	Simulated Annealing Area Coverage Enhancing Algorithm
SCSG	Sensing Connected Subgraph
SNCS	Sensing Neighborhood Cooperative Sleeping
SURF	Speed-Up Robust Features
TDP	Tam Doğrusal Programlama
TIS	Target In Sector
VFA-ACE	Virtual Force-Analysis based Area Coverage Enhancing Algorithm
W-AFUP	Weighted Attractive Forces of Uncovered Points
WCGA	Weighted Centralized Greedy Algorithm
WNE	Window-based Neighborhood Exploring
YAA	Yönlü Algılayıcı Ağ
YAD	Yönlü Algılayıcı Düğüm

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Algılama modelleri [6].....	8
Şekil 2.2 Dairesel-yönlü algılama modeli	9
Şekil 2.3 Yönlü algılama modeli.....	10
Şekil 2.4 Bir video kameraya ait görüş alanı	13
Şekil 3.1 YAA'larda temel hedefler.....	17
Şekil 3.2 Bir YAD'ın özellik ve davranışları.....	21
Şekil 4.1 Kapsama Örtüşmesi.....	36
Şekil 4.2 İç açığortay yöntemi	39
Şekil 4.3 Dgreedy algoritmasının performans analizi [17]	40
Şekil 4.4 Bir YAD'a ait görüş alanının ağırlık merkezi	41
Şekil 5.1 Bir YAD'a ait görüş alanı.....	51
Şekil 5.2 Grid-tabanlı görüş alanı	52
Şekil 5.3 Hibrit Hareket Stratejisi	53
Şekil 5.4 Kapsama haritası.....	56
Şekil 5.5 Komşu YAD'ların görüş alanlarının da bulunduğu kapsama haritası	57
Şekil 5.6 Kuvvet haritası	58
Şekil 5.7 Ağırlıklı kuvvet haritasının oluşturulması.....	60
Şekil 5.8 Spiral Arama.....	61
Şekil 5.9 Farklı boyutlardaki engeller	62
Şekil 5.10 Görüş alanı üzerinde engelin etkisi.....	62
Şekil 5.11 s_1 YAD'ına ait kapsama ve kuvvet haritaları	63
Şekil 5.12 Yatay ve dikey pencereler.....	65
Şekil 5.13 Komşu haritasında tarama işlemi	66
Şekil 6.1 Bir YAA'da ilk dağıtım sonrası YAD'ların durumu.....	70
Şekil 6.2 Dönme yeteneğinin YAD'ların görüş alanlarına etkisi	71
Şekil 6.3 Rasgele dağıtım, AFUP algoritması ve optimum yerleştirmenin karşılaştırmalı incelenmesi	72
Şekil 6.4 AFUP algoritmasının farklı YAD sayıları için kapsama alanı iyileştirme oranları.....	73
Şekil 6.5 Algılama yarıçapının rasgele dağıtıma ve AFUP'a etkisi	74
Şekil 6.6 Görüş açısının rasgele dağıtıma ve AFUP'a etkisi	75
Şekil 6.7 Farklı YAD sayıları için AFUP algoritmasının yakınsama eğrisi.....	75
Şekil 6.8 Rasgele dağıtım, W-AFUP algoritması ve optimum yerleştirmenin karşılaştırmalı incelenmesi	76

Şekil 6.9	W-AFUP algoritmasının farklı YAD sayıları için kapsama alanı iyileştirme oranları.....	77
Şekil 6.10	W-AFUP algoritmasının farklı YAD sayıları için yakınsama eğrileri.....	78
Şekil 6.11	AFUP ve W-AFUP algoritmasının engelsiz ortamda karşılaştırmalı olarak performans analizi	79
Şekil 6.12	Farklı YAD sayıları için AFUP ve W-AFUP'a ait örtüşme azaltım oranları	80
Şekil 6.13	Literatürdeki [15] çalışması ile AFUP ve W-AFUP'un karşılaştırılması.....	81
Şekil 6.14	Literatürdeki [16] çalışması ile AFUP ve W-AFUP'un karşılaştırılması.....	81
Şekil 6.15	Engelli ortamda ilk dağıtım sonrası YAD'ların görüş alanları.....	82
Şekil 6.16	W-AFUP sonrası YAD'ların görüş alanları	83
Şekil 6.17	AFUP ve W-AFUP algoritmasının engelli ortamda karşılaştırmalı olarak performans analizi	84
Şekil 6.18	Farklı YAD sayıları için AFUP ve W-AFUP'a ait örtüşme azaltım oranları	86
Şekil 6.19	Engelli ortamlarda, literatürdeki [49] çalışması ile AFUP ve W-AFUP'un karşılaştırılması	87
Şekil 6.20	Bir YAA'da ilk dağıtım sonrası YAD'ların görüş alanları	88
Şekil 6.21	Dönme yeteneğinin YAD'ların görüş alanına etkisi	88
Şekil 6.22	Hareket yeteneğinin YAD'ların pozisyon ve görüş alanlarına etkisi	88
Şekil 6.23	Rasgele dağıtım, sadece dönme, sadece hareket, hibrit hareket stratejisi ve optimum yerleştirmenin karşılaştırmalı olarak performans analizi	89
Şekil 6.24	Sadece dönme, sadece hareket ve hibrit hareket stratejisinin örtüşme azaltım oranları	92
Şekil 6.25	Rasgele dağıtım, sadece dönme, sadece hareket ve hibrit hareket stratejisinin farklı algılama yarıçapları için performans analizi	92
Şekil 6.26	Rasgele dağıtım, sadece dönme, sadece hareket ve hibrit hareket stratejisinin farklı görüş açıları için performans analizi	93
Şekil 6.27	Sadece dönme, sadece hareket ve hibrit hareket stratejisinde yer değiştiren YAD'ların kat ettiği toplam mesafe.....	94
Şekil 6.28	Kapsama iyileştirme sırasında YAD başına ortalama kat edilen mesafe.	95
Şekil Ek-A.1	Farklı algılama yarıçapları.....	110
Şekil Ek-A.2	Farklı görüş açıları	110

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Video algılayıcılar	14
Çizelge 2.2 Mesafelerine göre kızıl ötesi algılayıcılar	15
Çizelge 2.3 Piyasadaki kızıl ötesi algılayıcıların özellikleri	15
Çizelge 2.4 Sesüstü algılayıcılar	16
Çizelge 4.1 YAA'da kapsama alanı problemi için yapılmış çalışmaların listesi	29
Çizelge 6.1 AFUP algoritmasının toplam kapsama alanına etkisi.....	73
Çizelge 6.2 W-AFUP algoritmasının toplam kapsama alanına etkisi.....	77
Çizelge 6.3 Rasgele dağıtım, AFUP ve W-AFUP algoritmalarının 50 tekrar için sınır değerleri	79
Çizelge 6.4 Engelli ortamda AFUP algoritmasının toplam kapsama alanına etkisi	83
Çizelge 6.5 Engelli ortamda W-AFUP algoritmasının toplam kapsama alanına etkisi	84
Çizelge 6.6 Engelli ortamda, rasgele dağıtım, AFUP ve W-AFUP algoritmalarının 50 tekrar için sınır değerleri	85
Çizelge 6.7 Rasgele dağıtım, sadece dönme, sadece hareket ve hibrit hareket stratejisi için sınır değerleri	90
Çizelge 6.8 Hibrit çözümün toplam kapsama alanına etkisi.....	91
Çizelge 6.9 Hareket eden toplam YAD sayısı.....	94
Çizelge 6.10 YAD'ların kapsama alanı iyileştirme sırasında harcadıkları toplam enerji	95

YÖNLÜ ALGILAYICI AĞLARDA DÖNME ve HAREKET YETENEKLERİ İLE KAPSAMA ALANININ İYİLEŞTİRİLMESİ

M. Amaç GÜVENSAN

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. A. Gökhan YAVUZ

Dairesel-yönlü algılayıcı ağlarda kapsama alanı optimizasyon problemi son 10 yılda çok detaylı bir şekilde incelenmiştir. Öte yandan, yönlü algılayıcı ağlarda (YAA) kapsama alanı problemi son yıllarda, özellikle çoklu ortam algılayıcı ağların yaygınlaşması ile araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Sesüstü, kızıl ötesi, video kamera vb. sensörlere sahip yönlü algılayıcı düğümler (YAD), geleneksel daireesel-yönlü algılama yapan düğümlerden, görüş açısı, çalışma yönü, görüş açıklığı (*Line of Sight (LoS)*) vb. kendilerine özel karakterleri nedeniyle farklıdır. Bu nedenle, yönlü algılayıcı ağlardaki kapsama alanı problemi daha özel çözümler ve tekniklere ihtiyaç duyar.

Yönlü algılayıcı ağlarda rasgele dağıtım, görüş alanlarının örtüşmesine, engellerden olumsuz etkilenmesine, kapsama boşluklarının oluşmasına, dolayısıyla kapsama alanının verimli kullanılamamasına yol açmaktadır. Tekrar dağıtım, fazla sayıda YAD kullanılması, tam kapsama için önerilen çözümlerden bazılarıdır. Fakat yüksek maliyetleri, çevreye verilen zarar ve istenilen kapsama oranının garanti edilememesi bu yöntemlerin pek tercih edilmemesine yol açmaktadır. Kapsama alanı problemi için üretilen çözümlerin başında, ilk dağıtım sonrası YAD'ların kendilerini organize ederek görüş alanlarını verimli kullanmaları gelir. Bu çözümler arasında iki temel yaklaşım söz konusudur; *dönme yeteneği (motility)* ve *hareket yeteneği (mobility)*. Dönme yeteneği, YAD'ların kendi etraflarında dönerek çalışma yönlerini belirlemesini ifade ederken,

hareket yeteneği ise YAD'ların fiziksel olarak bir noktadan başka bir noktaya gidebilmesine karşılık gelmektedir.

YAA'larda kapsama alanı problemini çözmek için ortaya atılan çalışmalar dört grupta toplanmıştır; *hedef-tabanlı çözümler*, *alan-tabanlı çözümler*, *bağlanabilirlik garantili çözümler* ve *ağ yaşam süresi uzatan çözümler*. Önerilen çözümlerin çoğunda YAD'ların dönme yeteneğinden faydalanılmıştır. Öte yandan, hareket yeteneği sunduğu esneklik sayesinde oldukça önemli bir özelliktir. Fakat yüksek enerji maliyeti, hareket yeteneğinin araştırmacılar tarafından ortaya atılan çözümlerde pek tercih edilmemesine neden olmuştur.

Bu tez çalışmasında, dönme ve hareket yeteneğinin kapsama alanı iyileştirme oranına ve enerji tüketimine etkisi incelenmiştir. Sadece dönme yeteneğinin kapsama alanı iyileştirmede belirli bir eşik değeri aşamaması, sadece hareket yeteneğinin ise yüksek enerji tüketimi bizi hibrit bir çözüm oluşturmaya yöneltmiştir. Tez çalışması kapsamında, sırasıyla dönme ve hareket yeteneklerinin ardışıl bir şekilde kullanıldığı hibrit bir çözüm olan yeni bir yöntem, hibrit hareket stratejisi (HHS), önerilmiştir. Önerilen çözüm, dönme yeteneğinin düşük enerji tüketimi ile hareket yeteneğinin esnekliğini biraraya getirmektedir. Hibrit hareket stratejisi, kapsama alanı iyileştirme oranı ile enerji tüketimi arasında dengeyi kuran en iyi çözümdür.

Hibrit hareket stratejisi, literatürde yeni bir yöntem olması sebebiyle bir benzeri mevcut değildir. Öte yandan, hibrit çözümün, sadece dönme ve sadece hareket yeteneklerinin kullanıldığı yöntemlere göre üstünlüğünü (verimliliğini) ortaya koymak amacıyla iki adet dönme yeteneğinden faydalanan ve iki adet de hareket yeteneğinden faydalanan toplam 4 adet algoritmik çözüm önerilmiştir. Bu algoritmalar, ölçeklenebilirliği desteklemek, en az seviyede enerji tüketmek ve gerçek hayatta uygulanabilirliklerini sağlamak amacıyla dağıtık yapıda tasarlanmıştır. Ayrıca dönme yeteneğinden faydalanan algoritmik çözümlerimizin, engelsiz ve engelli ortamlarda literatürdeki mevcut çözümlere göre daha fazla iyileştirme sağladığı görülmüştür.

Geliştirilen benzetim ortamında yapılan testler sonucunda, hibrit hareket stratejisinin ilk dağıtım sonrası oluşan kapsama alanını %47'ye varan oranlarda iyileştirdiği ve örtüşen alanların tamamına yakını ortadan kaldırıldığı görülmüştür. Aynı zamanda hibrit hareket stratejisi, sadece dönme yeteneğinin kullanıldığı çözüme göre %7'ye varan daha fazla iyileştirme sağlamıştır. Öte yandan, hibrit çözümde hareket yeteneğinin kontrollü kullanımı, sadece hareket yeteneğinden faydalanan çözüme göre en az %40 oranında enerji tasarrufu sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Yönlü ve video algılayıcı ağlar, kapsama alanı, örtüşme, görüş açıklığı, enerji tüketimi, dönme yeteneği, hareket yeteneği, hibrit hareket stratejisi

**COVERAGE ENHANCEMENT EXPLOITING BOTH MOTILITY and MOBILITY
IN DIRECTIONAL SENSOR NETWORKS**

M. Amaç GÜVENSAN

Department of Computer Engineering

PhD. Thesis

Advisor: Assis. Prof. Dr. A. Gökhan YAVUZ

The coverage optimization problem has been examined thoroughly for omni-directional sensor networks in the past decades. However, the coverage problem in directional sensor networks (DSN) has newly taken attraction, especially with the increasing number of wireless multimedia sensor network (WMSN) applications. Directional sensor nodes equipped with ultrasound, infrared, and video sensors differ from traditional omni-directional sensor nodes with their unique characteristics, such as angle of view, working direction, and line of sight (*LoS*) properties. Therefore, DSN applications require specific solutions and techniques for coverage enhancement.

In DSNs, random deployment causes overlapped and occluded regions, coverage holes, i.e. the inefficient usage of the nodes in the observed area. Redeployment and deployment of excessive number of nodes are two well-known solutions for the full-coverage. However, they are not popular, since they pollute the environment, need high budgets and can not guarantee the expected coverage. For the coverage enhancement after the initial deployment, self-orientation of the nodes is a necessity in randomly deployed DSNs. There exist two main approaches for the coverage improvement. *motility* and *mobility*. Motility refers to the adjustment of the working

direction of the nodes, whereas mobility describes the physical movement of the nodes.

Available studies about coverage enhancement are categorized into four groups. *Target-based coverage enhancement*, *area-based coverage enhancement*, *coverage enhancement with guaranteed connectivity*, and *network lifetime prolonging*. Most existing studies propose solutions based on the motility capability of the directional sensor nodes. On the other hand, mobility is a powerful feature offering great flexibility. Nevertheless, the high energy consumption of mobility discourages researchers to utilize this approach in their solutions.

In this thesis, we examine the coverage improvement ratios and energy consumption of motility and mobility capabilities of the directional sensor nodes. Since both motility only solutions can improve the coverage up to a limit and mobility only solutions consumes too much energy, we are encouraged to design a hybrid solution for the coverage problem. In this thesis, we proposed a novel approach, a hybrid movement strategy (HMS), where we exploit motility/mobility in a cascaded manner for the coverage enhancement in DSNs. The proposed approach combines the low-energy consumption of motility with the flexibility of mobility.

The hybrid movement strategy is an unique solution among the available methods for the coverage problem. We have designed two algorithms for motility and two algorithms for mobility in order to show the effectiveness of the hybrid movement strategy. These algorithms are distributed algorithms in order to achieve the scalability and the minimization of the energy consumption to use them in real-scenarios easily. We also show that the algorithms based on motility capability outperform the existing solutions for both unobstructed and obstructed scenarios.

Simulation results show that the hybrid movement strategy improves the initial coverage up to 47% and minimizes the overlapped regions close to zero. Moreover, the proposed solution achieves up to 7% more coverage than the motility only solution. On the other hand, the controlled usage of mobility has provided at least 40% energy-saving compared to the mobility only solution in our scenarios.

Key words: Directional and video sensor networks, coverage, overlapping, line of sight, energy consumption, hybrid movement strategy, motility assisted mobility

GİRİŞ

Günümüzde daha güçlü ve yetenekli gömülü sistemlerin daha ucuza tasarlanabilir hale gelmesi, telsiz algılayıcı ağların daha da yaygınlaşmasını sağlamıştır. Ayrıca, mikro elektromekanik sistemlerin (MEMS) gelişimi ile birlikte gömülü sistemlerin birçoğuna çokluortam yeteneği kazandırılmıştır. Bunun sonucunda araştırmacılar çokluortam telsiz algılayıcı ağlardaki problem ve zorluklar üzerinde çalışmaya başlamışlardır. Yönlü algılama da bu problemlerin en başlarında yer almaktadır. Video algılayıcıların dışında sesüstü ve kızıl ötesi algılayıcılar da bulundukları bölgede etraflarını yönlü algılama modeline göre kapsayabilmektedirler. Hem yönlü algılama hem de yönlü iletişim kapsama alanını, bağlanabilirliği ve ağ yaşam süresini doğrudan etkilemektedir.

Kapsama problemi telsiz algılayıcı ağlarda özellikle rasgele dağıtım yapılan senaryolarda temel problemlerden biridir. Dairesel-yönlü algılayıcı ağlarda kapsama alanı problemi çok kapsamlı bir şekilde incelenmiştir [1-5]. Rasgele dağıtımlarda kapsama alanı iyileştirme için iki temel prensip benimsenmiştir. *Tekrar dağıtım ve hareket yeteneğinin kullanımı*. Öte yandan, özellikle son beş yılda yönlü algılayıcı ağların kullanımının artması geleneksel kapsama alanı problemine yeni zorluklar getirmiştir [6][7]. Geleneksel algılayıcı ağların dairesel-yönlü algıladıkları kabul edildiğinde, önerilen çözümlerin görüş açısı, farklı çalışma yönlerine sahip olma, görüş kısıtı vb. zorlukların üstesinden gelmesi pek mümkün değildir.

Yönlü algılayıcı ağlar, temel olarak yönlü kapsama özelliğine sahip video, kızıl ötesi ve sesüstü algılayıcıları üzerinde barındıran yönlü algılayıcı düğümlerden oluşur. Bir yönlü algılayıcı düğüm, kendi algılama yarıçapı içerisinde görüş açısına ve çalışma yönüne bağlı olarak sadece belirli bir sektörü algılayabilir. Buradan yola çıkarak bir YAD'ın

birden fazla çalışma yönüne sahip olabileceği rahatlıkla söylenebilir. Ancak, bu çalışma yönlerini kullanabilmesi için kendi etrafında dönebilme yeteneğine sahip olması gerekir. Kendi etrafında dönebilme yeteneği literatürde “dönme yeteneği (*motility*)” olarak ifade edilmektedir. Yönlü algılayıcı ağlarda rasgele dağıtım sonrası YAD’ların görüş alanlarının örtüşmesi, engellerden etkilenmesi ve istenilen bölge dışındaki noktaları gözetlemesi çok sık rastlanılan bir durumdur. Bu nedenle, toplam kapsama alanının iyileştirilmesi/daha fazla hedefin kapsanabilmesi için ilk dağıtım sonrası YAD’ların organize edilmesi gerekmektedir. YAD’ların çalışma yönlerinin uygun konuma getirilmesi ve/veya fiziksel konumlarının değiştirilmesi ile ilk dağıtım sonrası oluşan örtüşmelerin ve “kapatma (*occlusion*)” etkisinin en aza indirilmesi, en az sayıda YAD ile en fazla alanın/hedefin kapsanması mümkün olabilecektir.

Bu bölümde, tezin amacı ile birlikte literatürde yer alan çalışmalardan kısaca bahsedilecektir. 2. bölümde algılama modelleri incelendikten sonra mevcut yönlü algılayıcılar ve özellikleri tanıtılacaktır. 3. bölümde yönlü algılayıcı ağların temel özelliklerinden, farklılıklarından ve kapsama alanı problemini doğrudan etkileyen tasarım ölçütlerinden bahsedilecektir. 4. bölümde ise literatürde yönlü algılayıcı ağlarda kapsama alanı problemi için yer alan çözümlerin dayandığı temel yöntemler anlatılarak mevcut çözümler kapsamlı olarak incelenmektedir. Bölüm 5’te ise yönlü algılayıcı ağlardaki kapsama alanı problemi için dönme ve hareket yeteneklerinin ardışıl olarak kullanıldığı yeni bir yaklaşım olan hibrit hareket stratejisi sunulmaktadır. Bu bölüm içerisinde, dönme yeteneğini kullanan dağıtık yapıda çalışan iki yeni algoritma ayrıntılarıyla anlatılmaktadır. Bu algoritmaların engelli ortamlarda da çalışabilmesini sağlayan değişikliklerden bahsedilmektedir. Ayrıca, 5. bölümde, hareket yeteneğinden faydalanan iki adet yeni algoritma tanıtılmıştır. Algoritmaların biri sadece kapsama alanının artırımını hedeflerken, diğeri enerji tüketimini de gözönünde bulundurmaktadır. 6. bölümde ise önerilen algoritmaların ve yeni bir yaklaşım olan HHS’in performansı incelenmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Rasgele dağıtım sonrası kapsama alanı optimizasyonu, geleneksel algılayıcı ağlarda en fazla araştırılmış problemlerden biridir [8]. Mevcut çalışmalar, dairesel-yönlü algılama yapan düğümlerin homojen yerleşimini hedeflemektedir. Fakat önerilen bu çözümler, yönlü algılama yapan ve belirli bir görüş açısına sahip düğümlerden oluşan YAA'larda yetersiz kalmaktadır. Kısıtlı bir görüş alanına ve birden fazla çalışma yönüne sahip YAD'ların kendi etraflarında dönebilme yetenekleri birçok araştırmacının YAA'daki kapsama alanı problemine getirdikleri çözümlerine temel dayanak noktası oluşturmıştır.

Rasgele dağıtım senaryolarında meydana gelen örtüşmeler ve bazı hedeflerin, YAD'ların görüş alanı dışında kalması, araştırmacıları YAA'da yeni çözümlere yöneltmiştir. Bu problemlerin çözümü için araştırmacılar YAD'ların dönme yetenekleri üzerinde odaklanmışlardır. Öte yandan, dairesel-yönlü algılayıcı ağlarda önemli bir çözüm olan hareket yeteneğinin kullanımı YAA'da sadece Liang ve arkadaşları tarafından incelenmiştir [9]. Fakat bu çalışmada yazarlar YAD'ların dönme özelliğini hesaba katmamışlardır.

YAA'daki kapsama alanı problemi ile ilgili literatürdeki çalışmalar kapsamlı bir şekilde incelenerek [6] çalışmasında tarafımızdan derlenmiştir. Yapılan inceleme sonunda, mevcut çalışmalar dört başlık altında gruplandırılmıştır.

- Hedef-tabanlı çözümler
- Alan-tabanlı çözümler
- Bağlanabilirlik garantili çözümler
- Ağ yaşam süresini uzatan çözümler

Bazı uygulamalar bina, kapı, bayrak vb. sabit hedeflerin izlenmesini hedeflerken, başka uygulamalar hareketli hedeflerin takibi ile ilgilenmektedir. Sabit hedefler, gözetlenen bölgenin herhangi bir noktasında yer alabilir. Tüm alan yerine sadece

ilgilenilen hedeflerin takip edilmesi için hedef-tabanlı problemler tanımlanmıştır. Alan kapsamanın tersine, bu problemlerde en fazla sayıda hedefin kapsanması önemlidir. Hedef-tabanlı problemler için önemli sayıda çözüm mevcuttur [10,11,12]. Öte yandan, başta güvenlik ve askeri uygulamalar olmak üzere tüm alanının gözetlenebilmesi ihtiyacı duyan birçok uygulama vardır. Alan-tabanlı problemlerde amaç, en az YAD ile en fazla alanı izleyebilmektir. Bu tez çalışmasında, toplam kapsama alanının iyileştirilmesi hedeflendiğinden literatür özeti kısmında kısaca mevcut alan-tabanlı çözümlerden bahsedilecektir. Literatürdeki tüm çalışmalar Bölüm 4'te detaylı olarak anlatılmaktadır.

Alan-tabanlı çözümlerde, izlenen alandaki tüm noktaların eşit öneme sahip olması nedeniyle, herhangi bir noktanın kapsanamaması önemli bir güvenlik açığı oluşturur. Kapsama boşluklarının oluşmasının temel nedeni rasgele dağıtımlardır. Rasgele dağıtımlarda meydana gelen örtüşmeler ve görüş kayıpları izlenen alanın belirli sayıda YAD ile tam kapsanamamasına neden olmaktadır. Bu problemleri ortadan kaldırmak için araştırmacılar tarafından üç temel yaklaşım benimsenmiştir. İlk yaklaşım YAD'ların tekrar dağıtımına dayanır. Bu yaklaşım, birçok dezavantajı nedeniyle YAA'larda pek tercih edilmemiştir. Öncelikle, ek YAD'ların istenilen kapsama boşluklarına denk getirilmesi oldukça zordur. Ayrıca konum dışında çalışma yönünün de denk getirilmesi gerekmektedir. Tekrar dağıtım aynı zamanda oldukça pahalıdır. İkinci ve görece düşük enerji tüketimi nedeniyle en fazla tercih edilen yaklaşım ise YAD'ların dönme yeteneğinin kullanılmasıdır. Toplam kapsama alanını en yükseğe çıkarabilmek için dönme yeteneğinden faydalanan birçok çalışma [13,14,15,16,17,18] mevcuttur. Üçüncü ve son yaklaşım ise YAD'ların hareket yeteneğinden faydalanarak toplam kapsama alanının iyileştirilmesini sağlamaktır. Bu yaklaşımı benimseyen tek çalışma [9] Liang ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Yüksek enerji tüketimi nedeniyle pek tercih edilmemektedir.

1.2 Tezin Amacı

Yönlü algılayıcı ağlarda rasgele dağıtım sonrası örtüşen alanlar ve kapatma etkisi YAD'ların görüş alanlarının verimli kullanılamamasına neden olmaktadır. Bu durumda,

ilk dağıtım sonrası, *tekrar dağıtım*, *dönme* ve *hareket* yetenekleri kullanılarak toplam kapsama alanının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Tekrar dağıtımın çok maliyetli/zor uygulanabilir olması ve garantili bir çözüm olmaması nedeniyle araştırmacılar dönme ve hareket yeteneğini kullanmayı tercih etmişlerdir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda ya sadece dönme yeteneği kullanımından ya da sadece hareket yeteneğinden faydalanılmıştır. Dönme yeteneğinin kapsama alanı iyileştirmede yetersiz kalması, hareket yeteneğinin yüksek maliyeti, bizi hibrit çözüm üretmeye yöneltmiştir. Bu tez çalışmasında amacımız, YAD'ların dönme ve hareket yeteneklerinin kapsama alanı iyileştirme oranına ve enerji tüketimine etkisini inceleyerek rasgele dağıtılmış yönlü algılayıcı ağlarda ilk dağıtım sonrası olabildiğince az enerji kullanarak mümkün olan en yüksek kapsama alanını sağlamaktır. Bir diğer hedefimiz ise gerçek hayat uygulamalarında da kullanılabilir olması amacıyla engelli ortamlar için dönme yeteneğini kullanarak literatürdeki mevcut çözümlerden daha başarılı bir sonuç elde etmektir.

Kapsama alanı iyileştirme problemlerinde, çözümler merkezi ve dağıtık yapıda olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Merkezi çözümler, ağda yer alan tüm YAD'ların bilgilerini kullanarak sonuç elde ettikleri için genelde optimum veya optimum çözüme çok yakın sonuçlar üretebilmektedirler. Fakat bu tür çözümler, az sayıda YAD'dan oluşan yönlü algılayıcı ağlar için geçerlidir. Öte yandan, geniş algılayıcı ağlar için ölçeklenebilir bir çözüm üretebilmek için sadece yerel bilgilerin kullanıldığı dağıtık yapıda çalışan algoritmalar tasarlamak gerekmektedir. Aynı zamanda, mesaj trafiğini oldukça azaltan ve ağdaki dinamik değişimlere daha kolay adapte olabilen dağıtık yapıda çözümlerin tek dezavantajı merkezi çözümlere göre kapsama alanı iyileştirme oranlarının (ihmal edilebilir oranda) daha az olmasıdır. Bu nedenle bu tez çalışmasında sunulan algoritmalar hem ölçeklenebilir yapıda olmaları hem de daha az enerji tüketmeleri için dağıtık yapıda tasarlanmışlardır.

1.3 Hipotez

Rasgele dağıtılmış YAD'lardan oluşan bir yönlü algılayıcı ağda toplam kapsama alanını iyileştirmek için elimizde dönme ve hareket yeteneğine sahip YAD'lar olduğunu

varsayalım. Dönme yeteneği, hareket yeteneğine göre oldukça az enerji tüketmektedir [20,21,22].

Sadece dönme yeteneği kullanıldığı zaman az enerji tüketilmesine karşın bir kısım kapsama boşluğunun ortadan kaldırılması mümkün değildir. Bunun en önemli sebebi, döndürme hareketi sırasında bir YAD'ın sadece kendi algılama yarıçapı içerisindeki kapsama boşluklarını giderebilme şansına sahip olmasıdır. Öte yandan, bir YAD'ın hareket ettirilerek istenilen noktadaki boşluklara ulaşması kolayca mümkündür. Fakat hareket yeteneği oldukça yüksek enerji tüketimi gerektirmektedir.

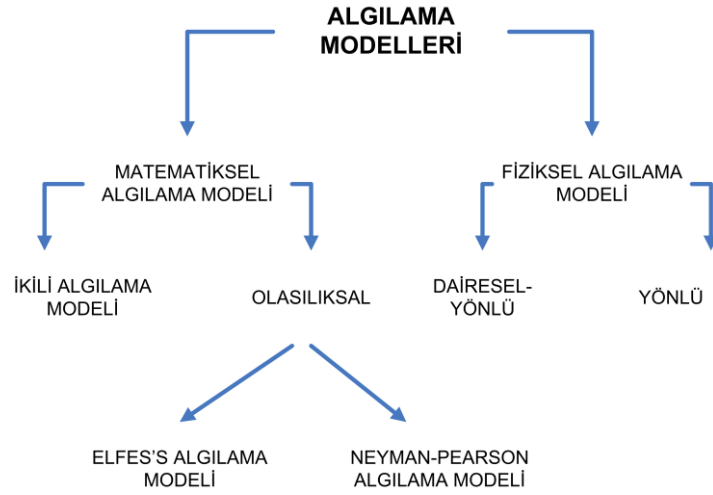
Enerji tüketimi ile kapsama alanı iyileştirme oranı arasındaki dengeyi sağlayabilmek için her iki yeteneğin de kullanıldığı bir çözüm gerekmektedir. Daha az sayıda YAD'ın hareket etmesini sağlamak için önce dönme yeteneğinden faydalanmak gerekir. Dönme yeteneği uygulandıktan sonra hala örtüşen veya kısıtlı olan görüş alanları varsa sadece ilgili YAD'ların mevcut kapsama boşluklarına yönlendirilmesi ile kapsama alanını daha da arttırılabilecektir.

KAPSAMA ALANI PROBLEMİ ve ALGILAMA MODELLERİ

Kapsama alanı problemi telsiz algılayıcı ağlarda temel problemlerden biridir. Gözetlenmesi/izlenmesi planlanan alanın en az sayıda algılayıcı ile en yüksek kapsama alanı oluşturularak takip edilmesi temel hedeftir. Ortama yerleştirilen veya dağıtılan algılayıcı düğümlerin genellikle kapsama alanlarının en az oranda örtüşmesi ve/veya engellerden en az oranda etkilenmesi beklenir. Yönlü algılayıcı ağlarda kapsama alanı problemini tariflemeyen önce telsiz algılayıcı ağlar için mevcut algılama modellerinden bahsedilecektir.

2.1 Algılama Modelleri

Algılayıcı düğümler, üzerlerinde farklı algılayıcı türlerini barındırabilirler. Telsiz algılayıcı ağlarda kullanılacak algılayıcı(lar), sıcaklık, nem, kızıl ötesi, video kamera, mikrofon vb. algılayıcılar arasından uygulamaların ihtiyacına göre belirlenir [23]. Mevcut algılayıcıları sınıflandırmak için algılayıcıların çeşitli özellikleri kullanılabilir. Algılama modeli de bu özelliklerden bir tanesidir (Şekil 2.1). Literatürde, algılama modeli, duyarlılık ve yön olmak üzere iki farklı şekilde kullanılabilmektedir. Bu tez çalışmasında, bu ayrımı daha anlaşılır hale getirmek için iki yeni kavram tanımlanmıştır; *matematiksel algılama modeli* ve *fiziksel algılama modeli* [6].



Şekil 2.1 Algılama modelleri [6]

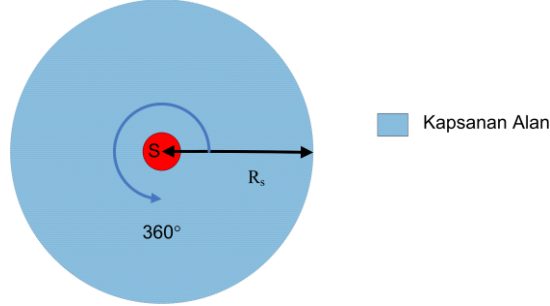
Matematiksel algılama modeli, algılayıcının algılama modelini ortaya koymaktadır. Teorik olarak bir algılayıcı çevresindeki herhangi bir noktayı ya kapsamaktadır ya da kapsamamaktadır. Bu basit model, literatürde “ikili algılama modeli (*binary sensing model*)” olarak adlandırılmıştır. Birçok araştırmacı, çalışmalarında algılayıcıların bu modele göre çevrelerini kapsadıklarını varsaymaktadır, fakat daha gerçekçi bir model olan “olasılıksal algılama modeline (*probabilistic sensing model*)” göre bir düğümün algılama alanı içinde yer alan bir hedef noktanın kapsanıp kapsanmadığı olasılıksal bir fonksiyona göre ifade edilmektedir [24]. Olasılıksal modele göre algılayan sensörler, bir hedef, kapsama alanı içerisinde yer alsa da bu hedefi algılayamayabilirler.

Fiziksel algılama modeline göre algılayıcılar algılama yönlerine bağlı olarak iki grupta incelenebilir; *dairesel-yönlü algılayıcılar* ve *yönlü algılayıcılar*.

2.1.1 Dairesel-Yönlü Algılama Modeli

Sıcaklık, nem, manyetik vb. birçok algılayıcı 360° olarak algılama yapabilmektedirler. Bu tip geleneksel algılayıcılar literatürde dairesele-yönlü algılayıcılar olarak tanımlanmışlardır. Bu nedenle, dairesele-yönlü algılama geleneksel algılama modeli olarak da kabul edilmektedir. Dairesel-yönlü algılayıcılar, R_s yarıçapında bir çember içerisinde kalan tüm bölgeleri algılayabilme yeteneğine sahiptirler. Tüm bölgeleri algılayabildikleri için tek bir çalışma yönleri vardır. Matematiksel algılama modelinin, ikili algılama modeli olarak kabul edildiği senaryolarda, bir algılayıcı kendi algılama

yarıçapı içerisinde giren veya içerisinde var olan bir hedefi %100 başarı ile tespit edebilmektedir. Şekil 2.2’de bir s YAD’ına ait fiziksel algılama modeli verilmiştir.

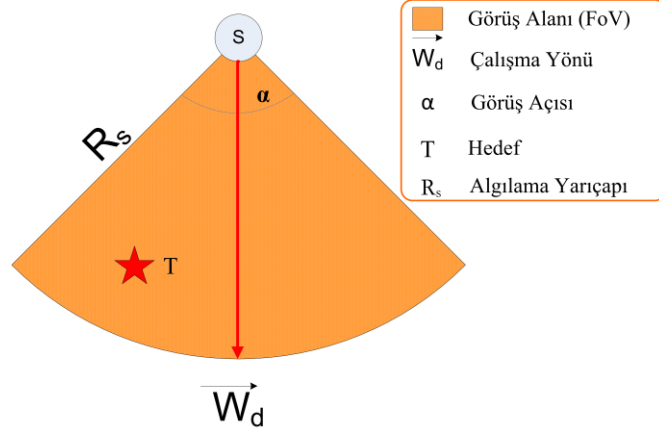


Şekil 2.2 Dairesel-yönlü algılama modeli

2.1.2 Yönlü Algılama Modeli

Dairesel-yönlü algılayıcıların tersine, kızıl ötesi, sesüstü, video kamera vb. yönlü algılayıcılar, kısıtlı bir görüş açısına sahip olduklarından algılama yarıçapının (R_s) içerisinde kalan her bölgeyi aynı anda kapsayamazlar. Yönlü algılayıcılar, algılama karakteristiklerinden ötürü birden fazla yönde algılama şansına sahiptirler. Dönebilme yeteneğine sahip bir yönlü algılayıcı, çalışma yönünü uygulamanın gerektirdiği şekilde belirleyebilmektedir. Yönlü algılayıcı ağların en doğru ve gerçekçi ifadesi 3B algılama modelinin [14] kullanılması ile mümkündür. Fakat gerek tasarım, gerekse 3B modelinin analiz karmaşıklığı, birçok araştırmacının daha basit bir model olan 2B algılama modelini tercih etmesine neden olmuştur.

Bir yönlü algılayıcı düğüm s tarafından kapsanan sektörel bölge 4 adet değişken $(P, R_s, \vec{W_d}, \alpha)$ ile ifade edilmektedir. P , algılayıcı düğümün konumunu, R_s algılama yarıçapını, $\vec{W_d}$ çalışma yönünü, α ise görüş açısını belirtmektedir. 2B uzay için kabul edilen yönlü algılama modeli Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3 Yönlü algılama modeli

Yönlü algılama modeli için $\alpha = 360^\circ = 2\pi$ olan özel durum ise dairesel-yönlü algılama modeli olarak tariflenmektedir.

2.2 Yönlü Algılayıcılar

Bu bölümde, ticari/akademik olarak kullanılan yönlü algılayıcılar ve fiziksel özelliklerinden bahsedilecektir. Yönlü algılayıcılar temel olarak video algılayıcılar, kızıl ötesi algılayıcılar ve sesüstü algılayıcılar olmak üç başlık altında toplanmaktadır.

2.2.1 Video Algılayıcılar

Video algılayıcılar yerleştirildikleri bölgede ortamdan görsel bilgi toplamak için kullanılmaktadırlar. Son yıllarda birçok çoklu ortam telsiz algılayıcı düğüm tasarlanmıştır [25]. Bu düğümlerin çoğunluğu da en az bir adet görüntü algılayıcısına sahiptir. Bu algılayıcılar, Charge-Coupled Device (CCD) teknolojisi ve Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (CMOS) görüntüleme teknolojisi olmak üzere iki farklı teknoloji kullanılarak üretilmektedir. CMOS görüntüleme teknolojisi, lens, görüntü algılayıcısı, görüntü sıkıştırma ve işlem yeteneğini tek bir yonga ile sağlarken, CCD teknolojisine sahip video algılayıcılar daha ağır, büyük ve maliyetlidirler [25].

Mevcut video algılayıcıların fiziksel özelliklerden bahsetmeden önce yönlü algılama modelinden az da olsa farklı olan mevcut kamera terminolojisinden bahsedilecektir. Optik alanında, “*Depth of Field (DoF)*”, bir sahnedeki yeterince net algılanabilen bölgeyi

tariflemektedir. Bir kameraya ait DoF şu parametreler kullanılarak ifade edilmektedir [26].

Odak Uzunluğu (Focal Length, f). Dışbükey bir lenste, tüm paralel ışınlar “temel odak noktası” olarak adlandırılan bir noktada toplanırlar. Lens ile bu nokta arasındaki mesafe, o lensin “temel odak uzunluğu” olarak kabul edilir.

Odak Mesafesi (Focus Distance, S). S , kamera ile kameranın odaklandığı nokta arasındaki mesafedir.

Açıklık (Aperture, d). Diyafram açıklığı bir lens üzerinde ışığın geçiş yaptığı delik veya açıklığı ifade etmektedir. Açıklık sınırlayıcının boyutu, DoF’i etkileyen faktörlerden biridir. Küçük sınırlamalar, daha uzak noktalardaki nesnelerin de odak noktasında yer almasını sağlayan büyük DoF oluştururlar.

f-number (N). f-number, lens gözünün çapını odak uzunluğu cinsinden ifade eder ve N ile gösterilir. N , odak uzunluğunun açıklık değerine bölünmesiyle hesaplanır.

$$N = \frac{f}{d} \quad (2.1)$$

Bulanıklık Dairesi (Circle of Confusion, c). c parametresi DoF’nin belirlenmesinde kullanılır. DoF, c ’nin insan gözünün çözünürlüğünden daha az olduğu bölgeler için ifade edilmektedir.

Odak Ötesi Uzunluğu (Hyperfocal Distance, H). Odak ötesi uzunluğu, bir lensin nesneleri kabul edilen keskinlikte gösterebildiği en uzak nokta için odaklanması gereken noktaya olan uzaklığı ifade etmektedir. Ayrıca D_n kabul edilebilir netliğin olduğu en yakın mesafeyi, D_f ise en uzun mesafeyi göstermektedir. H , D_n ve D_f , Eşitlik 2.2, 2.3 ve 2.4’te gösterilmektedir.

$$H = \frac{f^2}{Nc} + f \quad (2.2)$$

$$D_n = \frac{S(H - f)}{H + S - 2f} \quad (2.3)$$

$$D_f = \frac{S(H - f)}{H - S} \quad (2.4)$$

Görüş Açısı (Angle of View, AoV, α). Bir kameranın görüş açısı, yatay, dikey ve diyagonal olmak üzere üç adettir. Bahsedilen görüş açılarını hesaplamak için lensin odak uzunluğu ve görüntü algılayıcısının boyutları (d, h, v) kullanılmaktadır. Eşitlik 2.5, 2.6 ve 2.7’de bir video kameranın görüş açılarının hesaplanması için gerekli formüller verilmiştir¹.

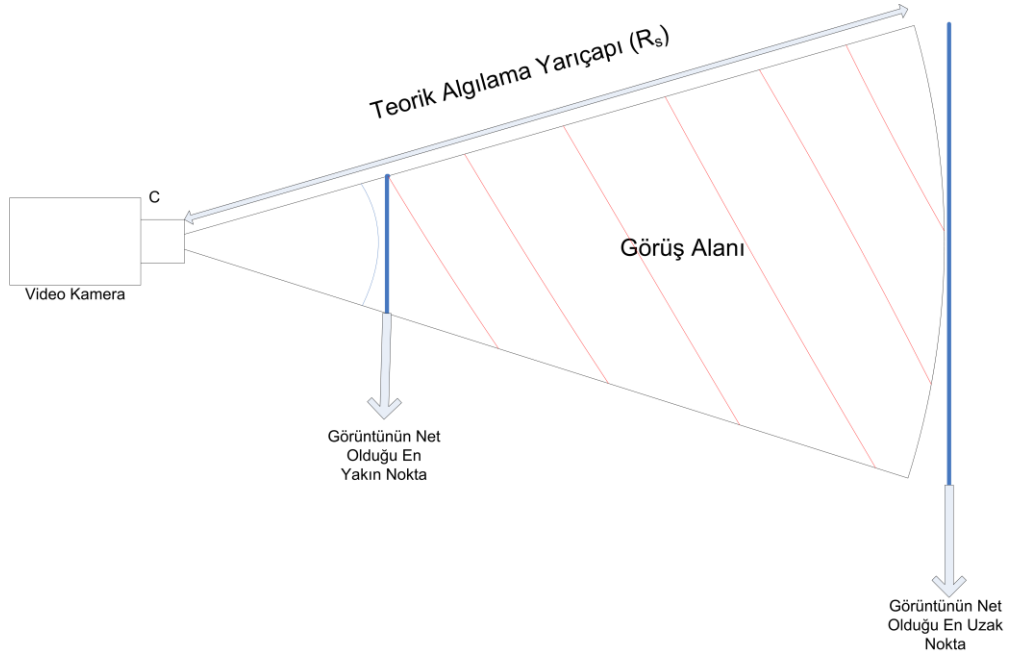
$$\alpha_h = 2 \arctan \frac{h}{2f} \quad (2.5)$$

$$\alpha_v = 2 \arctan \frac{v}{2f} \quad (2.6)$$

$$\alpha_d = 2 \arctan \frac{d}{2f} \quad (2.7)$$

Yukarıda bahsedilen parametreler incelendiğinde bir lense ait D_f ’nin ve bir kameranın AoV’nin sırasıyla bir yönlü algılayıcı düğümün algılama yarıçapına ve görüş açısına karşılık geldiği belirlenmiştir. Fakat gerçek dünya uygulamalarında bir video kameranın görüş alanı, Şekil 2.4’te olduğu gibi kabul edilebilir netlikte görüntü elde edilebilen en yakın ve en uzak nokta arasında kalan bölge ile ifade edilmektedir.

¹ Birçok veri föyünde ve referansta, görüş alanı (FoV), görüş açısı (AoV) yerine kullanılmaktadır.



Şekil 2.4 Bir video kameraya ait görüş alanı

Yukarıda bahsedilen parametreler incelendiğinde bir lense ait D_f 'nin ve bir kameranın AoV'sinin sırasıyla bir yönlü algılayıcı düğümün algılama yarıçapına ve görüş açısına karşılık geldiği belirlenmiştir. Fakat gerçek dünya uygulamalarında bir video kameranın görüş alanı, Şekil 2.4'te olduğu gibi kabul edilebilir netlikte görüntü elde edilebilen en yakın ve en uzak nokta arasında kalan bölge ile ifade edilmektedir.

Lens parametreleri, $f= 50mm$, $s=50m$, $N=2.8$ ve $c=0.011mm$ olan, $1/3''$ lense sahip bir CMUCam3 video algılayıcısının [27] teorik algılama yarıçapı $132m$ 'dir. Fakat kamera terminolojisi kullanılarak yapılan hesaplamada CMUCam3 için tanımlı gerçek görüş alanı $31m$ ile $132m$ arasındadır. Ayrıca, CMUCam3 için tanımlı veri föyünde, video algılayıcının yatay, dikey ve diyagonal görüş açıları sırasıyla 56° , 42° ve 70° olarak belirtilmiştir.

Piyasadaki video algılayıcılar, genellikle Omnivision [28] ve Agilent [29] firmaları tarafından üretilmektedir. Firmaların ürün yelpazesi oldukça geniştir. Çizelge 2.1'de bu ürünlerden bazılarının özellikleri yer almaktadır¹.

¹ Video algılayıcılar için verilen parametreler, ilgili üreticilerin yayınladıkları veri föylerinden alınmıştır.

Çizelge 2.1 Video algılayıcılar

Video Algılayıcı	Üretici	Platform	Teknoloji	Lens Boyutu	f-Numarası	Varsayılan Çözünürlük
ADCM-1700	Agilent	Mesheye	CMOS	M/D	2.8	352x288
ADCM-2650	Agilent	M/D	CMOS	M/D	2.8	480x640
ADCM-2700	Agilent	Mesheye	CMOS	M/D	M/D	640x480
OV6620	Omnivision	CMUCam3	CMOS	1/4"	M/D	352x488
OV7620	Omnivision	CMUCam3	CMOS	1/3"	M/D	640x480
OV9630	Omnivision	M/D	CMOS	1/3"	M/D	1280x1024

2.2.2 Kızıl Ötesi Algılayıcılar

Kızıl ötesi algılayıcılar (*infrared sensors*), çevredeki değişimleri (hareket vb.) algılamak için kızıl ötesi ışınım yayarlar veya yakalarlar. Kızıl ötesi algılayıcılar bir nesnenin sıcaklığını ölçebileceği gibi ortamdaki hareketi algılayabilirler. Birçok tipte kızıl ötesi algılayıcı mevcuttur. Bunların başında kızıl ötesi ışınımı ölçen pasif kızıl ötesi (PKÖ) algılayıcılar gelir. Hareket algılayıcı olarak çalışan kızıl ötesi algılayıcılar ise ortamı izlerken kendi görüş alanlarında meydana gelen ani değişimleri rapor ederler. Yansıtıcı kızıl ötesi algılayıcılar nesnelerden yansıyan kızıl ötesi ışınımını kullanırken, kesici kızıl ötesi algılayıcılar ise yaydıkları kızıl ötesi ışınımında bir nesnenin geçmesiyle meydana gelen kopukluğu yakalamakla görevlidirler.

Kızıl ötesi algılayıcılar, algılama yarıçaplarına göre üç grupta incelenebilirler (Çizelge 2.2). *kısa mesafeli KÖ algılayıcılar, orta-mesafeli KÖ algılayıcılar ve uzun mesafeli KÖ*

algılayıcılar. Çizelge 2.3'te ise piyasada mevcut KÖ algılayıcıların kısa bir listesi yer almaktadır. Bu liste, hem bilinen düğümlerde kullanılan küçük KÖ algılayıcıları hem de daha güçlü olan askeri amaçlı KÖ algılayıcıları içermektedir.

Çizelge 2.2 Mesafelerine göre kızıl ötesi algılayıcılar

Kızıl ötesi Algılayıcılar	Kısa Mesafe	Orta Mesafe	Uzun Mesafe
Yansıtıcı (<i>Reflective</i>)	< 4cm	20cm – 3m	> 3m
Kesici (<i>Interrupter</i>)	3mm	20cm - 45m	> 45m

Çizelge 2.3 Piyasadaki kızıl ötesi algılayıcıların özellikleri

Kızıl ötesi Algılayıcılar	Platform	Algılama Yarıçapı (m)	Görüş Açısı (°)
Parallax PKÖ Algılayıcı [30]	Squid Bee Mote	4	60
PKÖ Algılayıcı [31]	Trio Mote	8	M/D
MP Hareket Algılayıcı [19]	M/D	10	110
Hydra PKÖ Algılayıcı (Type-I ¹) [32]	M/D	15	30
Hydra PKÖ Algılayıcı (Type-II ³) [32]	M/D	40	10
Hydra PKÖ Algılayıcı (Type-III ³) [32]	M/D	100	4

¹ Askeri uygulamalar için kullanılan güçlü KÖ algılayıcılar

2.2.3 Sesüstü Algılayıcılar

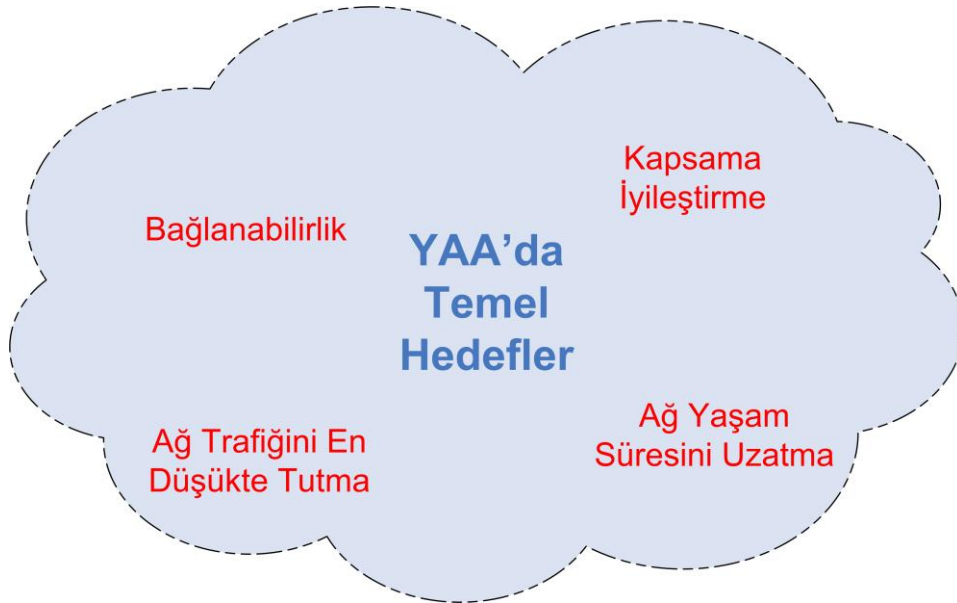
Sesüstü algılayıcılar (*ultrasound sensors*) ürettikleri yüksek frekanslı ses dalgalarının yansıması sonucu oluşan yankılardan faydalanarak çalışırlar. Bu algılayıcılar, gönderilen sinyal ile yansıma sonucu geri gelen sinyal arasındaki zaman farkını hesaplayarak bir nesnenin uzaklığını hesaplayabilirler. Daha çok robotların üzerinde, bir bölgenin haritasının oluşturulmasında, engellerin tespit edilmesinde ve ortamda engellere takılmadan hareket edilmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte, bir nesnenin boyutunun ölçülmesinde, bir kutuda/tankta yer alan sıvının miktarının ölçülmesinde, nesnelerin boyutlarına göre sınıflandırılmasında, yardımcı park sistemlerinde, araba alarm mekanizmalarında da sesüstü algılayıcılar tercih edilmektedir. Mevcut bazı sesüstü algılayıcılar Çizelge 2.4’te verilmiştir.

Çizelge 2.4 Sesüstü algılayıcılar

Sesüstü Algılayıcılar	Üretici	Algılama Yarıçapı (cm)	Görüş Açısı (°)
Ultra-U Ailesi [33]	Senix	5-11	15
RU18-D90 Ailesi [34]	Riko	9	7
RU18-D160 Ailesi [34]	Riko	16	8

YÖNLÜ ALGILAYICI AĞLAR

Bu bölümde yönlü algılayıcı ağların temel özellikleri ve geleneksel algılayıcı ağlardan farklarından bahsedilecektir. Ayrıca, kapsama alanı problemini doğrudan etkileyen tasarım ölçütleri ve yönlü algılayıcı düğümlerin özellikleri ele alınacaktır. Yönlü algılayıcı ağlardaki temel hedefler Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 YAA’larda temel hedefler

3.1 Kapsama

Telsiz algılayıcıların temel amacı ortamdan veri toplamaktır. Her uygulamanın farklı amaçları olduğu için ortamdan toplanan veri değişkenlik gösterir. Bu veriler sıcaklık, nem, vb. skaler veriler olabileceği gibi görüntü, ses vb. çoklu ortam verileri de

olabilmektedir. Tüm uygulamaların birleştigi en önemli nokta ise bahsedilen verilerin toplanmasını/ortamın izlenmesini en az algılayıcı düğüm kullanarak olabildiğince en fazla alanı kapsayacak şekilde gerçekleştirmektir. Bu hedeften yola çıkarak birçok araştırmacı telsiz algılayıcı ağlar için kapsama alanı problemini detaylı olarak incelemiştir. Kapsama alanı problemi kendi içinde *alan kapsama*, *hedef kapsama*, *k-kapsama* vb. olmak üzere farklı alt kategoriler içerisinde değerlendirilmektedir. Bölüm 4.2’de bu alt kategoriler detaylı olarak anlatılmaktadır.

3.2 Bağlanabilirlik

Bağlanabilirlik, kapsama alanı probleminin alt problemlerinden bir tanesidir. Bağlanabilirliği sağlanmış bir ağda her algılayıcı düğüm herhangi başka bir düğüm ile direk veya başka düğümler aracılığıyla iletişim kurabilir. Telsiz algılayıcı ağlarda, doğrudan iletişim, uzun mesafeli paket transferi nedeniyle oldukça fazla enerji tüketir. Bu nedenle, çok-atlamalı (*multi-hop*) iletişim tercih edilir. Bu da telsiz algılayıcı ağlarda bağlanabilirliğin önemini bir kat daha artırır. Yönlü algılayıcı ağlarda dört adet iletişim modeli mevcuttur.

- dairesel-yönlü iletim - dairesel-yönlü alma
- yönlü iletim - dairesel-yönlü alma
- dairesel-yönlü iletim - yönlü alma
- yönlü iletim - yönlü alma

Birinci model dairesel-yönlü algılayıcı ağlardaki model ile aynıdır. Diğer üç modelde ise iki farklı durum söz konusudur. Birincisinde algılama ve gönderme/alma yönleri aynıdır. İkincisinde ise algılama ve gönderme/alma yönleri farklıdır. Bahsedilen durumlar değerlendirildiğinde özellikle yönlü gönderme/alma modeli kullanıldığında bağlanabilirliğin yönetilmesi oldukça karmaşık ve zordur. Yönlü algılayıcı ağlarda kapsama alanı problemi üzerine yapılmış çalışmalar incelendiğinde birçok çalışmada algılayıcı düğümlerin dairesel-yönlü iletişim kurduğu ve bir düğümün iletişim mesafesinin algılama mesafesinin en az iki katı olarak kabul edildiği ($R_c \geq 2R_s$) görülmektedir.

3.3 Ağ Yaşam Süresi

Algılayıcı düğümler için en büyük problem pil kapasitelerinin oldukça düşük olmasıdır. Varolan küçük boyutlu pillerin yetersiz olması, algılayıcı ağların ömrünü oldukça kısaltmaktadır. Bu kısıt nedeniyle birçok araştırmacı telsiz algılayıcı ağların yaşam süresini uzatmak için birden fazla yöntem üzerinde çalışmaktadır. Enerji tasarruflu MAC katmanları ve yönlendirme protokolleri [35,36], çapraz katman mimarisi [37], çok çeşitli yerleştirme/dağıtım stratejileri [38], baz istasyonu konumlandırma algoritmaları [39-42] vb. birçok çalışma telsiz algılayıcı düğümlerin enerji tüketimini azaltmak amaçlı gerçekleştirilmiştir. Özellikle iletişimin, algılayıcı aktiviteleri (fiziksel hareket hariç) arasındaki en yüksek enerji tüketen aktivite olması, araştırmacıları bu konudaki çalışmalara odaklamıştır. Fakat yönlü algılayıcı ağlarda kendi etraflarında dönebilme mekanizmasına sahip düğümlerin etraflarında dönerek en uygun çalışma yönlerini belirleme ihtiyacı enerji tüketimi konusuna farklı bir bakış açısı getirmiştir. Fiziksel hareketin iletişimden de fazla enerji tüketmesi [20] kapsama alanı problemi sırasında düğümlerin en az hareket ile konumlandırılması gerekliliğini göstermiştir.

3.4 Ağ Trafiki

Bir önceki bölümde iletişimin en fazla enerji tüketen aktivitelerin başında olduğu belirtilmiştir. Bu noktadan yola çıkarak ağ içi gerçekleşen mesaj trafiğinin ağ yaşam süresini doğrudan etkilediği görülebilmektedir. Ağ içi gönderilen her ekstra mesaj, ekstra enerji tüketilmesine neden olur. Bu nedenle, ağ içi trafik olabildiğince en düşüğe tutulmalıdır. Telsiz algılayıcı ağlarda iki adet mesaj tipi vardır; *uygulama-tabanlı mesajlar* ve *ağ-tabanlı mesajlar*.

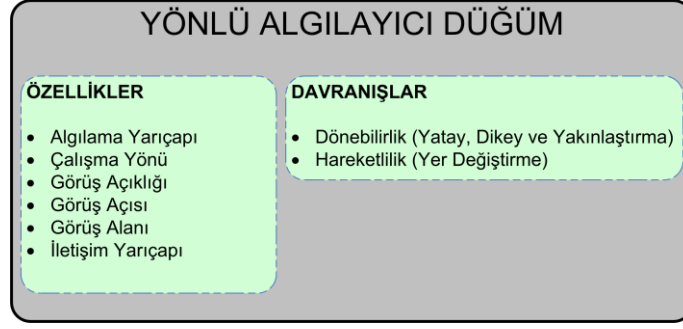
Uygulama-tabanlı mesajlar sadece ortamdan toplanan bilgileri içermektedir. Öte yandan, ağ-tabanlı mesajlar düğümlerin pozisyon bilgisini, çalışma yönünü, görüş açısını, algılama yarıçapını, kalan enerjisini ve durumunu içeren bilgileri taşımaktadır. Ağ yaşam süresini uzatmak için iletişim miktarını en düşüğe tutmak, iletişim miktarını en düşüğe tutmak için önemsiz bilginin aktarılmasından kaçınmak gereklidir. Ağ içi veri işleme (*in-network processing*) gereksiz verinin ayıklanması için en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Örneğin, aynı bölgedeki birden fazla algılayıcı düğümden toplanan sıcaklık bilgisinin hepsinin merkeze iletilmesi yerine bu bilgilerin

ortalamasının alınarak tek bir bilginin gönderilmesi, bir ağ içi veri işleme şeklidir. Fakat ağ içi veri işleme, ağ-tabanlı mesajlara genellikle uygulanamaz. Ağ-tabanlı mesajlar özellikle ağın iklenilmesi sırasında değiş tokuş yapılır. Her düğüm kendi pozisyonunu ve komşularının pozisyonlarını ağ-tabanlı mesajlardan faydalananarak belirler. Tekrar pozisyonlandırma algoritmaları da ağ-tabanlı mesajlardan faydalananarak algılayıcı düğümlerin yeni yerlerini ve çalışma yönlerini belirlerler. Bu algoritmalar genellikle iterasyon-tabanlı oldukları için ağ içi mesaj trafiği oldukça fazladır.

Tekrar pozisyonlandırma algoritmaları iki farklı bakış açısına sahiptirler. *Fiziksel hareket* ve *sanal hareket*. Fiziksel hareket stratejisi kullanılan telsiz algılayıcı ağlarda, düğümler her iterasyon sonunda gerekirse konumlarını ve çalışma yönlerini fiziksel olarak değiştirirler. Bunun tersi olarak, sanal hareket stratejisi kullanılan ağlarda düğümler iterasyon tamamlandığında son olarak seçilen konumlarına fiziksel olarak gidip yeni çalışma yönlerine doğru dönerler. Sanal hareket stratejisi mesaj trafiğinde artışa neden olsa da oldukça az fiziksel hareket içermesi nedeniyle çok daha avantajlı bir yöntemdir. İletişim sırasında harcanan enerjinin, fiziksel hareket sırasında harcanan enerjiye göre oldukça az olması nedeniyle sanal hareket yöntemi tercih edilen ağlarda yaşam süresi, fiziksel hareket tercih edilen ağlara göre oldukça yüksektir.

3.5 Yönlü Algılayıcı Düğümlerin Karakteristik Özellikleri

Bu bölümde, yönlü algılayıcı ağlardaki problemler ve yönlü algılayıcı ağ uygulamalarının tasarımını doğrudan etkileyen YAD'ların karakteristik özelliklerden bahsedilmektedir. Bu özelliklerden bazıları kapsama alanı problemini doğrudan bazıları ise dolaylı olarak etkilemektedir. Bir yönlü algılayıcı düğüme ait temel özellikler ve davranışlar Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 Bir YAD'ın özellik ve davranışları

3.5.1 Görüş Açısı

Geleneksel telsiz algılayıcı ağlarda algılayıcıların kapsama alanlarının dairesel olduğu kabul edilir. Fakat, yönlü algılayıcı ağlarda algılayıcılar teknik kısıtlar ve yüksek maliyet nedeniyle sınırlı bir görüş açısına sahiptirler. Görüş açısı teorik olarak 1° ile 360° arasında değişebilmektedir. Bir algılayıcıya ait görüş açısı 360° ise o düğüm dairesel-yönlü algılama modeline sahiptir. Dar görüşlü algılayıcılardan oluşan bir yönlü algılayıcı ağda yüksek kapsama alanını elde edebilmek için çok sayıda düğüm yerleştirmek gerekmektedir.

3.5.2 Çalışma Yönü

Bir yönlü algılayıcının baktığı yön, o algılayıcının çalışma yönünü gösterir. Yönlü algılayıcı ağlarda, rasgele dağıtım sonrası algılayıcıların her biri farklı çalışma yönüne sahip olabilir. Bu durumda birden fazla algılayıcının görüş alanlarının örtüşmesi olasılığı oldukça yüksektir. Algılayıcıların bazıları ise önlerindeki engellerden etkilendikleri için görüş alanlarının kısıtlanması söz konusudur. Bu durumlarda, kapsama alanının en yükseğe çıkarılabilmesi için algılayıcıların çalışma yönlerinin yeniden belirlenmesi kaçınılmazdır. Ayrıca, ağ yaşam süresi içerisinde meydana gelen dış etkenler ve uygulama-tabanlı isteklerden dolayı bazı algılayıcıların çalışma yönlerinin değiştirilmesi gerekebilir. Çalışma yönlerinin ayarlanması için düğümler arası yerel bilgi değişimi yeterli olabilmektedir.

3.5.3 Görüş Hattı

Çoklu ortam/video tabanlı algılayıcı ağlar [43], yönlü algılayıcı ağlar olarak kabul edilir. Özellikle video kameraların görüş alanları, ortamda bulunan ağaç, bina vb. engellerden olumsuz etkilenirler. Bu durum literatürde “kapatma etkisi (*occlusion effect*)” olarak ifade edilir. Kameraların görüş alanlarının engellerden ne kadar etkilendiği, engellerin boyutu, kameranın engele olan uzaklığı ve yönü ile doğrudan ilişkilidir. Video algılayıcılar, ortamda meydana gelen olay ile aralarında ancak bir “görüş hattı (*Line of Sight (LoS)*)” mevcut ise gerekli görüntüleri elde edebilirler [44]. Bu nedenle, dairesel-yönlü algılayıcı ağlar için üretilmiş mevcut kapsama alanı iyileştirme yöntemleri çoklu ortam algılayıcı ağlar için yetersiz kalmaktadır.

3.5.4 Dönme Yeteneği / Hareket Yeteneği

Dönme ve hareket (yer değiştirme) yetenekleri, özellikle birlikte kullanıldığında, kapsama alanı oldukça iyileştirilebilmektedir. Dönme yeteneği, x, y ve z ekseninde gerçekleşen hareketler için kullanılmaktadır. Bu üç ekseninde gerçekleşen hareketler bir video kamera için sırasıyla “*pan*”, “*tilt*” ve “*zoom*” olarak adlandırılır. Düşük donanım gereksinimi ve düşük enerji ihtiyacı, dönme yeteneğinin gömülü sistemlere entegrasyonunu kolaylaştırmıştır. Dönme yeteneğinin, yönlü algılayıcı ağlarda kapsama alanını iyileştireceği açıkça görülmesine rağmen diğer çözümlerden ilk başta daha iyi olduğu anlaşılamayabilir. Bu çözümlerin başında yüksek miktarda sabit düğüm kullanılması veya hareket yeteneğinden faydalanılması gelir. [45] çalışmasında yazarlar dönme yeteneğinin algılama kalitesini önemli oranda arttırabildiğini ve bunun çok az bir gecikme ile gerçekleştiğini göstermişlerdir. Yazarlar, ayrıca dönme yeteneğinin kullanımının yönlü algılayıcılar ağlar için uygun olduğunu aşağıda belirtilen maddeler ışığında ortaya koymuşlardır.

1. Dönme yeteneğinin enerji ihtiyacı oldukça düşüktür. Çünkü algılayıcının yer aldığı parça hareket ederken motor, pil ve işlemci vb. diğer birimler sabit kalmaktadır. Örneğin, servo motora sahip bir YAD, kendi etrafında 180° dönmek için yaklaşık 1.5 J harcarken, sadece 1 m yer değiştirmek için 3.6 J enerji harcamaktadır.

2. Navigasyon için duyulan ihtiyaç en düşüktedir. Dönme için ekstra bir arazi bilgisi gerekmediği için ekstra bir algılayıcıya ihtiyaç duyulmaz.
3. Yer değiştirme söz konusu olmadığı için yörünge bilgisine ve konum belirleme işaretlerine ihtiyaç duyulmaz.

Güç ihtiyacı yüksek olan veya yüksek bant genişliğine sahip olan algılayıcı düğümler bağlantıları nedeniyle sabit olmalarına karşın dönme yeteneğinden faydalanabilirler.

YÖNLÜ ALGILAYICI AĞLARDA KAPSAMA ALANI İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ VE MEVCUT ÇÖZÜMLER

Bu bölümde yönlü algılayıcı ağlarda kapsama alanı iyileştirme yöntemlerinden bahsedilerek bu yöntemleri kullanan çözümler detaylı olarak anlatılacaktır.

4.1 Kapsama Alanı İyileştirme Yöntemleri

Kapsama kalitesi, yerleştirme/dağıtım stratejisi ile yakından ilişkilidir. Yönlü algılayıcı ağlardaki dağıtım stratejileri geleneksel ağlardan pek farklı değildir. Yönlü algılayıcı ağlarda da bilinen iki temel dağıtım stratejisi mevcuttur; (i) *planlı yerleştirme* ve (ii) *rasgele dağıtım*.

Planlı yerleştirmede, yönlü algılayıcı düğümler daha önceden hazırlanmış bir senaryoya göre yerleştirilir. Bu yaklaşımda, en az algılayıcı düğüm ile en fazla kapsama alanı elde ederken ağın toplam kapsama alanı rasgele dağıtıma göre oldukça yüksektir. Bu yerleştirme stratejisi daha çok iç mekan uygulamalarında tercih edilmektedir. Sanat galerisi gözetleme [46], bu yaklaşımın uygulandığı en bilinen problemlerin başında gelir. Belirli bir plana göre yerleştirilen yönlü algılayıcı ağlarda örtüşme ve kapatma çoğunlukla söz konusu değildir.

Rasgele dağıtım, planlı yerleştirme ile kıyaslandığında özellikle geniş yönlü algılayıcı ağlar için kolay ve ucuzdur. Ayrıca rasgele dağıtım, erişilemeyen ve tehlikeli bölgeler için mevcut tek çözümdür. Bu bölgelerde uçak veya mancınık kullanarak dağıtım yapılabilmektedir. Rasgele dağıtım kolay olmasına karşın düğümlerin rasgele dağılmasından dolayı oldukça verimsiz bir dağıtım şeklidir. Birçok düğümün yan yana gelmesi görüş alanlarının örtüşmesine yol açarken bazı bölgelerin hiç

kapsanamamasının olasılığı oldukça yüksektir. Bu nedenle istenilen kapsama oranının sağlanabilmesi için çok fazla sayıda sabit düğüm kullanılması gerekmektedir. Bu çözümün yüksek maliyeti ve çevreye verdiği zarar nedeniyle rasgele dağıtım sonrası yönlü algılayıcı düğümlerin kendi kendine organize olabildiği çözümler üzerine çalışmalar başlamıştır.

Araştırmacılar, rasgele dağıtılmış yönlü algılayıcı ağlar için farklı birçok kapsama alanı iyileştirme yöntemi ortaya koymuşlardır. Yönlü algılayıcı ağlarda yüksek kapsama alanı sağlamak için 4 temel yöntem mevcuttur. Bu tez çalışması kapsamında, bu yöntemlere ek olarak hibrit bir çözüm önerilmiştir.

- Yüksek sayıda yönlü algılayıcı düğümün dağıtımı
- Tekrar dağıtım
- Yönlü algılayıcı düğümlerin dönme özelliğinden faydalanmak
- Yönlü algılayıcı düğümlerin hareket özelliğinden faydalanmak
- Hibrit Hareket Stratejisi – Motility Assisted Mobility (Dönme + Hareket)

4.1.1 Aşırı Dağıtım (*Redundant Deployment*)

Geleneksel algılayıcı ağlarda olduğu gibi, teorik olarak gerekli olan sayıdan daha fazla sayıda yönlü algılayıcı düğüm dağıtılması belirli oranda kapsama alanını arttıracaktır. Fakat bu dağıtımın rasgele yapılmasından dolayı gereğinden fazla sayıda düğüm dağıtılsa bile %100 kapsama alanı sağlanması garanti değildir. Bu nedenle, istenilen kapsama alanını sağlayacak ekstra düğüm sayısını belirlemek mümkün değildir. Ayrıca bu yöntemin hem maliyeti yüksektir hem de çevreye oldukça zararlıdır.

4.1.2 Tekrar Dağıtım (*Redeployment*)

Rasgele dağıtımın uçak veya mancınık ile yapıldığı düşünüldüğünde, tekrar dağıtım sırasında algılayıcı düğümlerin istenilen bölgelere tam olarak denk gelme olasılığı oldukça düşüktür. Bu nedenle, tekrar dağıtım sonrası gözetlenen sahada ya olması gerekenden daha fazla algılayıcı yer alacak ya da istenilen kapsama alanı

sağlanamayacaktır. Ayrıca, doğası gereği her tekrar dağıtım yüksek maliyet gerektirmektedir [47,48].

4.1.3 Dönme Yeteneği / Çalışma Yönü, Algılama Yarıçapı ve Görüş Açısının Ayarlanması

Yönlü algılayıcı ağlarda, rasgele dağıtım sonrası düğümlerin görüş alanlarının örtüşme olasılığı oldukça fazladır. Bu nedenle birçok araştırmacı, ilk dağıtım sonrası algılayıcı düğümlerin dönme özelliğinden faydalanarak algılayıcıların çalışma yönlerini yeniden belirleyen algoritmalar önermişlerdir. Çalışmalarının temel amacı hem örtüşme alanlarını en düşüğe tutmak hem de kapatma etkisini azaltmaktır. Dönme yöntemini kullanan birçok çalışmada önerilen algoritmalar için [15,16,49,50] farklı koşullar ve varsayımlarla benzetim (*simulation*) yapılmıştır. Çalışmaların detayları Bölüm 4.2’de verilmektedir.

Yönlü algılayıcı bir düğümün ilk dağıtım sonrası tekrar pozisyonlandırılması için algılayıcının kendi etrafında 360° dönmesini sağlayan özel bir donanıma ihtiyacı vardır. Çizelge 4.1’de listelenen çalışmaların biri dışında hepsi 2B ortamlar için çözüm önermektedir. Sadece [14] çalışmasında 3B yönlü algılama modeli tanımlanmış ve 3B ortam için bir çözüm önerilmiştir. Kapsama boşluklarının kapatılmasını ve daha fazla sayıda hedef noktanın kapsanmasını sağlayan bir başka yaklaşım ise algılayıcının parametrelerini değiştirmektir. Örneğin, algılama yarıçapının ve/veya görüş açısının artırılması daha fazla bölgenin veya hedefin kapsanmasını sağlayacaktır. Fakat, bu parametrelerin arttırılabilir olması yüksek maliyete ve ayarlanması ise yüksek enerji tüketimine neden olmaktadır. [51] çalışmasında bu parametrelerin optimum seçimi için “Tam Doğrusal Programlama (TDP)” önerilmektedir.

4.1.4 Hareket Yeteneği (*Mobility*)

Hareket yeteneği, kapsama ve bağlanabilirlik vb. birçok ağ problemini [47] çözebildiği için telsiz algılayıcı ağlar için çok önemli bir özelliktir. Bazı algılayıcı düğümler, pil tükenmesi, ortamdan kaynaklanan bozulmalar, kendi yapılarında meydana gelen aksaklıklar nedeniyle zaman içinde fonksiyonelliklerini kaybedebilirler. Böylece, ağ yaşam süresince ulaşılamayan/bilgi toplanamayan bölgeler oluşabilmektedir. Dönme

yeteneği iyi bir alternatif olmasına rağmen çok sınırlı bir alanının kapsama olasılığı vardır. Bu bölgeleri tekrar kapsamanın en garanti yolu, en yakın hareketli algılayıcı düğümü ilgili bölgeye yönlendirmektir. Dairesel-yönlü algılayıcı ağlarda, hareket yeteneğini kullanan birçok m önerilmiştir [52,53,54]. Fakat, yaptığımız araştırmalar sonucunda, yönlü algılayıcı ağlarda kapsama alanı iyileştirilmesi için sadece bir çalışma algılayıcı düğümlerinin hareket yeteneklerinden faydalanılmasını önermiş ve bu yönteme dayalı bir m ürettiği görülmüştür [9].

Hareket yeteneğine sahip bir telsiz algılayıcı düğüm oldukça pahalı ve hassas bir aksamaya sahiptir. Bunun yanında, bir algılayıcı düğümün 1m hareket ettirilmesi sırasında harcanan enerji, 1Kbyte veri transferi sırasında harcanan enerjinin yaklaşık 20 katıdır [20]. Bahsedilen bu dezavantajlara rağmen hareket yeteneği, algılayıcı ağların değişimlere ve problemlere adaptasyonunu oldukça kolaylaştırmaktır. Dönme yeteneği, kapsama alanı iyileştirmede büyük bir katkı sağlasa da, yönlü algılayıcı düğümlerin sadece çalışma yönlerinin ayarlanması ile tam bir kapsama alanı elde etmek mümkün değildir. Bu nedenle, yönlü algılayıcı ağlarda kapsama alanı problemi için hareket yeteneği mutlaka mn bir parçası olarak dşnlmelidir.

4.1.5 Hibrit Hareket Stratejisi

Yönlü algılayıcı ağlarda bugüne kadar sadece dönme veya sadece hareket yeteneklerinin değerlendirildiği mler önerilmiştir. Dönme yeteneği, hareket yeteneğine oranla oldukça az enerji tketer. Fakat, dönme yeteneğinin kapsama alanı iyileştirme oranı özellikle yoğun ağlarda sınırlıdır. Bu oranının üzerine çıkabilmenin tek yolu algılayıcı düğümlerin hareket ettirilmesidir. Bu tezde, kapsama alanı iyileştirme için optimum bir m olan HHS nerilmiştir [55]. Bu hibrit yöntemde, sırasıyla dönme ve hareket yeteneklerinin ardışıl kullanımı hedeflenmiştir. nce, yönlü algılayıcı düğümlerin çalışma yönlerinin ayarlanması ve mümkün olan en iyi kapsama alanının elde edilmesi planlanmıştır. Daha sonra ise hala görüş alanı kısıtlı veya örtüşen bir düğüm ve etrafında daha büyük kapsama boşluğu var ise o düğümün ilgili kapsama boşluğuna yönlendirilmesi amaçlanmıştır.

4.2 Yönlü Algılayıcı Ağlarda Kapsama Alanı İyileştirme için Mevcut Çözümler

Bir önceki bölümde kapsama alanı iyileştirme için varolan temel yöntemler ortaya konmuştur. Bu bölümde ise mevcut yöntemlerden faydalanarak kapsama alanı iyileştirilmesi için yapılan özgün çalışmalardan bahsedilecektir. Kullanılan yöntem, uygulamanın ihtiyaçlarına göre belirlenmektedir. Öte yandan, yapılan kapsamlı literatür araştırması, araştırmacıların iki genel çözüm üzerinde yoğunlaştıklarını göstermektedir.

- Yönlü algılayıcı düğümlerin çalışma yönlerinin ayarlanması.
- Fazla yönlü algılayıcı düğümlerin uyutulması.

Bir yönlü algılayıcı düğüm teorik olarak n farklı yönde algılama yapabilir. Bir yönlü algılayıcı düğüm için en uygun çalışma yönü, örtüşmenin ve kapatmanın en az olduğu yöndür. Böylece YAD, toplam kapsama alanına en yüksek katkıda bulunur. Öte yandan, çalışma yönünün ayarlanması ağ yaşam süresinin en yüksekte tutulabilmesi için yeterli değildir. Çünkü bazı YAD'lar çalışma yönünün ayarlanması sonrasında bile örtüşen alanlara sahip olabilirler. Bu durum için literatürde enerji tasarrufu sağlamak amacıyla çeşitli zamanlama algoritmaları kullanılarak ilgili YAD'ların uyutulması önerilmiştir. YAA'lardaki kapsama problemi ile ilgili en dikkate değer ve yol gösterici çalışmalar Çizelge 4.1'de karşılaştırmalı olarak listelenmiştir.

Çizelge 4.1 YAA’da kapsama alanı problemi için yapılmış çalışmaların listesi

	Tür	Yöntem	Boyut	Algoritma	Temel Hedef	İkincil Hedef	Yaklaşım /Çözüm
Yayın	[17]	D	2B	DGreedy	Kapsama alanının en yükseğe ulaştırılması	-	ÇY Ayarlama
	[56]	D	2B	-	Tam kapsama sağlanması	Ağ yaşam süresinin uzatılması	Adaptif Zaman Ayarlama
	[18]	M	2B	Voronoi tabanlı Greedy Algoritması	Kapsama alanının en yükseğe ulaştırılması	-	ÇY Ayarlama ve Zaman Ayarlama
	[13]	D	2B	EFCEA	Toplam alanın iyileştirilmesi	Ağ yaşam süresinin en yüksek tutulması	ÇY Ayarlama ve Zaman Ayarlama
	[57]	D	2B	E-SURF	Ağ yaşam süresinin uzatılması	-	Anlamli Komşu Seçimi
	[49]	D	2B	Kendi kendine yönelme	Kapsama alanının en yükseğe ulaştırılması	-	Örtüşme/Kapatma için ÇY Ayarlama
	[58]	M	2B	Adaptif yerleştirme	İstenilen kapsama sağlanırken toplam maliyetin en düşüğe tutulması	-	Adaptif Tekrar Dağıtım
	[15]	M	2B	Kapsama alanı iyileştirme	Kapsama alanının en yükseğe ulaştırılması	-	ÇY Ayarlama

	Tür	Yöntem	Boyut	Algoritma	Temel Hedef	İkincil Hedef	Yaklaşım /Çözüm
Yayın							
[59]	AK/HK	M	2B	Greedy	k-kapsamanın en düşük sayıda YAD ile garanti altına alınması	-	ÇY Ayarlama ve Zaman Ayarlama
[59]	AK/HK	D	2B	DGA	k-kapsamanın en düşük sayıda YAD ile garanti altına alınması	-	ÇY Ayarlama ve Zaman Ayarlama
[60]	Ni	D	2B	Adaptif tabanlı	izlenen nesnenin yön ve hız bilgilerinin tespit edilmesi	-	Nesnenin yükek frekanslı YA ile yakalanması
[61]	KK	M	2B	Sektör-tabanlı süzme modeli	Keşif yolunun ortadan kaldırılması		Algılama yoğunluğunun arttırılması
[52]	HK	M	2B	Yön bölüntüleme	Ağ yaşam süresinin uzatılması	-	Ağırlıklı fayda grafına göre ÇY ayarlanması
[10]	HK	M	2B	TDP,SNCS	En az sayıda YAD ile en fazla hedefin kapsanması	Ağ yaşam süresinin uzatılması	ÇY Ayarlama ve Zaman Ayarlama
[10]	HK	M	2B	CGA,SNCS	En az sayıda YAD ile en fazla hedefin kapsanması	Ağ yaşam süresinin uzatılması	ÇY Ayarlama ve Zaman Ayarlama
[10]	HK	D	2B	DGA,SNCS	En az sayıda YAD ile en fazla hedefin kapsanması	Ağ yaşam süresinin uzatılması	ÇY Ayarlama ve Zaman Ayarlama

	Tür	Yöntem	Boyut	Algoritma	Temel Hedef	İkincil Hedef	Yaklaşım /Çözüm
Yayın							
[11]	HK	M	2B	DCS-GA, WT-Greedy	Tüm hedeflerin kapsanması	Ağ yaşam süresinin uzatılması	Kalan enerjiye göre ÇY ayarlanması
[11]	HK	D	2B	DCS-GA, WT-Dist	Tüm hedeflerin kapsanması	Ağ yaşam süresinin uzatılması	Hedef önceliğine göre ÇY ayarlanması
[62]	HK	M	2B	WCGA	En fazla sayıda hedef kapsanması	-	ÇY Ayarlanması
[63]	HK	M	2B	GDA	ÇY optimizasyonu	-	ÇY Ayarlanması
[63]	HK	D	2B	EDO	Öncelikli olarak kritik hedeflerin kapsanması	YAD'lar arasındaki kapsama farklarının en düşükte tutulması	ÇY Ayarlanması
[63]	HK	D	2B	NSS	Ağ yaşam süresinin en yüksekte tutulması	-	Kapsama kümelerinin zaman içinde değıştirilmesi
[64]	HK	M	2B	TDP	Toplam maliyetin en düşükte tutulması	Kapsama alanını ve ağ yaşam süresini en yüksekte tutmak	Algılama yarıçapı, Görüş Alanı, ÇY Ayarlanması
[65]	HK	M	2B	TDP	Ağ yaşam süresinin uzatılması	-	Zaman Ayarlama

Yayın	Tür	Yöntem	Boyut	Algoritma	Temel Hedef	İkincil Hedef	Yaklaşım /Çözüm
[65]	HK	D	2B	CBDA	Ağ yaşam süresinin uzatılması	-	Geri çekme zamanlayıcısı ile ÇY ve zaman ayarlama
[14]	HK	D	3B	VFA-ACE	Kapsama alanının iyileştirilmesi	-	ÇY Ayarlama
[14]	HK	D	3B	SA-ACE	Kapsama alanının iyileştirilmesi	-	ÇY Ayarlama
[66]	HK	M	2B	Yön bölüntüleme	Tüm hedeflerin en az YAD ile kapsanması	-	ÇY Ayarlama
[67]	HK	M	2B	TDP	Tüm hedeflerin en az YAD ile kapsanması	-	ÇY Ayarlama
[51]	HK	M	2B	TDP	Toplam maliyetin en düşüğe tutulması	-	Algılama yarıçapı, Görüş Alanı, ÇY Ayarlanması
[68]	HK	M	2B	Greedy Algoritması	En az sayıda YAD ile Bağlanabilir grantili bir ağ oluşturulması	-	Örüntü tabanlı yerleştirme
[68]	HK	M	2B	Şerit-tabanlı algoritma	En az sayıda YAD ile Bağlanabilir grantili bir ağ oluşturulması	-	Örüntü tabanlı yerleştirme

4.2.1 Hedef-tabanlı Çözümler

Bazı algılayıcı uygulamalar, bina, kapı, bayrak, kutu vb. sabit hedeflerin gözetlenmesi ile ilgilenirken, diğer uygulamalar hareket halindeki hedeflerin izlenmesini amaçlar. Sabit hedefler gözetlenecek bölgede herhangi bir noktada yer alabilirler. Araştırmacılar bu tür durumlarda tüm bölgeyi gözetlemektense sadece hedefleri izlemeyi tercih eden uygulamalar için hedef-tabanlı çözümler üretmektedir. Bazı çalışmalarda, hedef kapsama (*target coverage*) ifadesi yerine nokta kapsama (*point coverage* [2]) ifadesi kullanılabilmektedir. Alan kapsama çalışmalarından farklı olarak bu problemde temel amaç, en fazla sayıda hedefin kapsanmasıdır. Hedef-tabanlı çözümlerde, her hedefin sürekli en az bir YAD ile izlenmesi istenir. Fakat bazı yönlü algılayıcı ağ uygulamalarında güvenilirliği arttırabilmek için her hedefin en az k adet YAD ile izlenmesi gerekli olabilmektedir. Bu gereksinimi karşılamak amacıyla k -kapsama problemi tanımlanmıştır. Buna ek olarak, k -engel kapsama (*k-barrier coverage*) [69] problemi için, korunan bir bölgeye giriş yapan bir hedefin yakalanabilmesini garanti eden bir çözüm üzerine çalışılmaktadır. Genelde bu tür senaryolarda, hedef bölgeden çıkmadan önce en az k adet algılayıcı tarafından algılanabilmelidir. Buradaki amaç, en az YAD ile bu hedefin yakalanmasını garanti edebilmektir.

Önemli sayıda çalışma, en fazla sayıda sabit hedefin en az sayıda YAD ile algılanabilmesini sağlayan çözümler üzerine odaklanmıştır. [11] çalışmasında, yazarlar, tüm hedefleri kapsayacak YAD'ların yönlerinden oluşan bir alt kümeyi elde etmek için çözüm üretmişlerdir. Yönlü algılayıcı ağlarda bu tür bir kapsama kümesinin bulunması problemi, "yönlü kapsama küme problemi (*Directional Cover Set (DCS) problem*)" olarak adlandırılmıştır. Bu problemi çözmek amacıyla *DCS-Greedy* isimli bir merkezi ve *DCS-Dist* isimli bir dağıtık yapıda algoritma tasarlamışlardır. Her iki algoritma da giriş bilgisi olarak hedef sayısını M , YAD sayısını N ve bir YAD'a ait çalışma yönü sayısını w kullanmaktadır. Yazarlar, hedef kümesi ve hedeflerden en az birini kapsayan yön kümesi olmak üzere iki adet küme tanımlanmışlardır. Temel amaçları, bir hedefin en az sayıda YAD ile kapsanacak yönleri belirlemektir. *DCS-Dist* algoritması merkezi çözümlerin yetersiz kaldığı geniş ölçekli ağlar için tasarlanmıştır. Bu algoritmada, bir YAD, sadece komşularından aldığı bilgileri kullanarak yeni çalışma yönüne karar verir. Algoritma iki temel aşamadan oluşur; *dağıtım aşaması* ve *karar aşaması*. Dağıtım

aşamasında her hedef, kaç adet YAD ve yönü tarafından kapsandığını belirten bir öncelik ile etiketlenir. Bir hedef ne kadar fazla YAD ve yönleri tarafından kapsanabiliyorsa, o hedefin önceliği o kadar düşüktür. Bunun sebebi, o hedefi kapsayacak ihtimal sayısının fazla olması ve ihtimal sayısı daha az olan hedeflere öncelik verilmesidir. Karar aşamasında ise bir YAD, önceliği yüksek olan henüz kapsanmamış hedefler için komşuları ile bilgi alışverişinde bulunur.

Merkezi bir çözüm olan DCS-Greedy algoritmasının zaman karşılığı $O(N^2WM)$ iken, dağıtık yapıda bir çözüm olan DCS-Dist algoritmasının zaman karmaşıklığı $O(NWM)$ 'dir. Deneysel sonuçlar, merkezi çözüm DCS-Greedy algoritmasında, DCS-Dist algoritmasına göre çoğunlukla kapsama kümesi bulma olasılığının daha yüksek ve kapsanan hedef sayısının daha fazla olduğunu göstermiştir.

Ai ve Abouzeid, “*Maximum Coverage with Minimum Sensors (MCMS)*” problemini ortaya atmışlardır [10]. Elde hedef kümesi $T = (t_1, t_2, \dots, t_m)$ ve her birinin p adet çalışma yönü bulunan N adet homojen YAD olduğu bir durumda, MCMS en fazla sayıda hedefin, en az sayıda YAD’ın aktif edildiği bir çözüm ile kapsanmasını hedefler. Yazarlar ilk olarak MCMS probleminin NP-hard bir problem olduğunu, MCMS’in, NP-complete bir problem olan MAX_COVER [70] probleminin bir alt problemi olduğunu kanıtlayarak ortaya koymuşlardır. MAX_COVER probleminin karar mekanizması şu şekilde ifade edilebilir. Elimizde T adet hedeften oluşan bir küme ve C adet alt küme olduğunu varsayalım. MAX_COVER problemi, C adet altküme arasından, T adet hedeften en az v tanesini kapsayan u adet alt kümeyi bulmayı hedefler. MAX_COVER probleminde, u alt küme $(\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_u)$ C arasından seçilir. Daha sonra, her alt kümenin $\phi_i (1 \leq i \leq u)$, p adet kopyası oluşturulur ve alt kümeler $(\phi_{i1}, \phi_{i2}, \dots, \phi_{ip})$ olarak tekrar yazılır. Oluşturulan yeni alt kümeler MCMS probleminde giriş verisi olarak kullanılır.

Ayrıca, [10] çalışmasında, yazarlar hem 2B algılama modelini hem de hedefin bir YAD’ın görüş alanı içerisinde olup olmadığını kontrol eden “*Target In Sector (TIS)*” testini tanımlamışlardır. MCMS problemini çözmek için tamsayı doğrusal programlamadan faydalanmışlardır. Tamsayı doğrusal programlama için YAD sayısı N , hedef sayısı m ve YAD’ların çalışma yönü sayısı p olmak üzere 3 adet giriş değişkeni tanımlanmıştır.

Amacı kapsanan hedeflerin sayısını en yüksekte tutmak olan formülde, tekil bir çözüm elde etmek için aktif olan YAD'ların sayısı küçük bir epsilon değeri ($\varepsilon < 1$) ile çarpılmaktadır. Tamsayı doğrusal programlama, her YAD için en uygun çalışma yönünü belirlemesine rağmen, geniş ağlar için ölçeklenebilir değildir. Geniş ölçekli ağlar için yazarlar bir merkezi ve bir de dağıtık yapıda olmak üzere polinom zamanda sonuç üretebilen iki adet sezgisel açgözlü algoritma (*polynomial-time heuristic greedy algorithm*) geliştirmişlerdir.

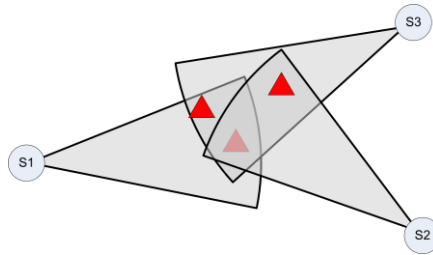
Centralized Greedy Algorithm (CGA), MCMS problemini merkezi yöntemle çözmeyi hedeflemiştir. İteratif olarak çalışan CGA algoritması her iterasyonda, aktif olmayan YAD'lar arasından en fazla hedefin kapsanmasını sağlayacak YAD'ları ve çalışma yönlerini seçer ve aktif hale getirir. Eşitlik olması durumunda rasgele seçim yapılır. Bu algoritma kapsanacak hedef ya da seçilmemiş YAD kalmayana kadar devam eder. En fazla N adet döngü olabileceğinden CGA'nın zaman karmaşıklığı $O((m+1)N^2p)$ şeklindedir.

Distributed Greedy Algorithm (DGA) ise MCMS problemi için üretilmiş sadece yerel bilgileri değerlendiren dağıtık yapıda çalışan bir çözümdür. DGA, merkezi çözüm kadar yüksek bir performans sağlayamasa da ölçeklenebilir bir karmaşıklığı vardır. Ayrıca daha az sayıda ağ içi mesaj trafiği gerektirir. DGA algoritmasında her YAD kendisine önceliğini belirten bir etiket numarası verir. Her YAD, kendisine $2R_s$ uzaklığından yakın olan komşu YAD'ların önceliklerine göre karar verir. Yüksek öncelikleri bulunan YAD'lar çalışma yönlerini ilk belirleme hakkına sahiptirler. Bu YAD'lar kendilerini en fazla hedefi kapsayacak şekilde döndürürler. Her iterasyonda, komşu YAD'lar öncelik, yer ve çalışma yönü bilgilerini değiş tokuş ederler.

Simülasyon sonuçlarına göre kapsama alanı iyileştirmede TDP, CGA ve DGA'dan daha başarılı sonuç üretmiştir. Öte yandan, DGA en fazla sayıda YAD kullanımına ihtiyaç duymuştur. Yazarlar, tasarladıkları dağıtık yapıdaki DGA'nın performansını değerlendirmek için dairesel-yönlü algılayıcı ağlardaki diğer dağıtık yapıdaki çözümlerden [71-73] daha iyi sonuç elde eden Optimal Geographical Density Control (OGDC) algoritmasını [74] seçmişlerdir. DGA için p değerini "1" seçerek dairesel-yönlü bir algılama modeli oluşturup farklı senaryolar için DGA ve OGDC algoritmalarını

karşılaştırmışlardır. Birçok senaryo için DGA'nın OGDC'den daha iyi kapsama alanı elde ettiğini gözlemlemişlerdir.

[63] çalışmasında ise iki adet yeni çalışma yönü optimizasyonu algoritması, Greedy Direction Adjusting (GDA) ve Equitable Direction Optimizing (EDO), önerilmektedir. GDA algoritması mevcut yöntemler gibi hedef sayısını değerlendirirken, EDO algoritması önceliği olan hedefleri kapsamayı ve YAD'ların kapsadığı hedef sayısının eşit olmasını amaçlamaktadır. Şekil 4.1'de gösterildiği gibi kapsama örtüşmelerini engellemek için eşdeğer kapsama modeli sunulmuştur. EDO algoritmasının temel amacı, hedef-çalışma yönü haritasında hedeflerin kapsanıp kapsanmadığı bilgisini ve kapsanıyorsa hangi YAD'lar tarafından kapsandığı bilgisini tutarak her YAD için en uygun çalışma yönünü bulmaktır. EDO algoritması, GDA algoritmasına göre kapsama alanını ortalama %30 oranında daha fazla iyileştirmektedir.



Şekil 4.1 Kapsama Örtüşmesi

[62] çalışmasında da önceki çalışmalara benzer şekilde en fazla hedef kapsanacak şekilde YAD'ların en uygun çalışma yönlerine sahip olması hedeflenmektedir. Önerilen Weighted Centralized Greedy Algorithm (WCGA) algoritması en yüksek ağırlığa sahip çalışma yönlerini seçmektedir. Algoritma üç temel kümeyi giriş bilgisi olarak kabul etmektedir. *hedef kümesi*, *YAD kümesi* ve *YAD'ların olası çalışma yönleri kümesi*. Çıktı olarak ise seçilen YAD'ları ve çalışma yönlerini vermektedir. Yazarlar, iki adet ağırlık fonksiyonu tanımlamıştır; *hedef ağırlığı* ve *çalışma yönü ağırlığı*. Her hedef için "Maximally be Covered Number (MCN)" tanımlanmıştır. MCN bir hedefin en fazla kaç adet YAD tarafından kapsanabildiğini göstermektedir. Eşitlik 4.1'de verilen hedef ağırlık fonksiyonunda, düşük MCN'ye sahip hedefin ağırlığı yüksek kabul edilir. Yazarlar, önceliğin MCN'ye ve YAD yoğunluğuna göre belirlenmesinin hedef kapsama oranını iyileştirebildiğini gözlemişlerdir. WCGA algoritması, CGA algoritmasına göre kapsanan hedef sayısının artmasını ve aktif olan YAD sayısının azalmasını sağlamıştır.

$$w(t_k) = \frac{1/\alpha m}{M(t_k)} \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1’de m toplam hedef sayısını, α hedefin (t_k) , ağırlığını ayarlamak için kullanılan pozitif faktörü, $M(t_k)$ ise (t_k) hedefini kapsayan en fazla YAD sayısını göstermektedir.

Şu ana kadar anlatılan çözümlerde, hedeflerin eşit öneme sahip olduğu kabul edilmiştir. Halbuki, bir alanda bulunan hedefler farklı öneme sahip olabilirler. Bu fikirden yola çıkarak, yazarlar [66] çalışmasında öncelik-tabanlı hedef kapsama problemini ortaya atmışlardır. Amaçları en az YAD ile önceliklerine göre en fazla hedefi kapsayabilmektir. Bu problemi çözebilmek için genetik bir algoritma tasarlamışlardır. Tasarladıkları algoritmayı güçlü optimizasyon araçlarına sahip MATLAB ortamında gerçekleştirmişlerdir. Simülasyon ortamında, algılama yarıçapı, görüş açısı, ve YAD’ların kapsayabileceği hedef sayısının değişimleri incelenmiştir. Artan algılama yarıçapı ile birlikte aynı oranda kapsama oranını sağlayabilmek için daha az sayıda YAD kullanmanın yeterli olduğu gözlenmiştir. Diğer yandan, kullanılan YAD sayısını azaltmakta, görüş açısını arttırmanın algılama yarıçapını arttırmaktan daha az etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

[64] çalışmasında ise Osais ve arkadaşları yönlü algılayıcı düğüm yerleştirme problemini farklı bir şekilde değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında, hedeflerin yanısıra YAD’ların yerleştirileceği noktalar önceden belirlenmiştir. Çalışmanın temel amacı bu noktalara YAD’ları en uygun şekilde yerleştirerek hedefleri en az bir adet YAD ile kapsayabilmektir. Problemin çözümü için TDP modeli sunulmuştur. Her parametrenin yönlü algılayıcı ağı toplam maliyetine doğrudan etkisi olduğu bilindiği üzere testler sırasında algılama yarıçapı, görüş alanı ve çalışma yönü parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak kullanılan YAD’ların algılama yarıçapları ve görüş açıları değişkenlik göstermektedir. Deneysel sonuçlar, YAD’ların yerleştirileceği aday noktaların sayısının artmasının toplam maliyeti düşürdüğünü ve kullanılan YAD sayısını %95 oranında azalttığını göstermiştir.

4.2.2 Alan-tabanlı Çözümler

Bir önceki bölümde, yönlü algılayıcı ağlardaki hedef-tabanlı çözümler incelenmiştir. Bu bölümde ise yönlü algılayıcı ağlarda toplam alanın iyileştirilmesini hedefleyen çözümler incelenecektir. Alan kapsama (*area coverage*) bazı çalışmalarda [66] saha kapsama (*field coverage*) olarak kullanılmaktadır. Algılama görevlerinin tam anlamıyla yerine getirilebilmesi için kapsanan alanın iyileştirilmesi birçok uygulamada çok önemlidir. Temel amaç, sınırlı sayıda YAD ile en fazla alanı kapsayabilmektir. Birçok çalışmada, kapsanan alanın tüm alana oranı kapsamanın kalitesini göstermektedir [75]. Oranın 1'e yakın olması kapsama kalitesinin yüksek olduğuna işaret etmektedir. Öte yandan, bazı çalışmalarda en kötü durumda kapsama (*worst-case coverage*) oranı, kapsama kalitesi için kullanılmaktadır. En kötü durumda kapsama, bir hedefin, gözetlenen alandan yakalanmadan geçebilme olasılığını belirtmektedir [76]. Bu model ile ağın en zayıf bölgesi tespit edilmektedir.

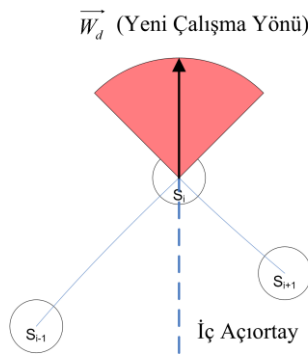
Yönlü algılayıcı ağlarda, kapsama alanı problemi genellikle grid-tabanlı yaklaşım [77] kullanılarak simüle edilmektedir. Griddeki her kesişim noktası gözlenen alandaki bir noktayı temsil etmektedir. Grid çözünürlüğü bir alanın ne oranda detaylı modellendiğini göstermektedir. Grid çözünürlüğünün artması kapsama alanı iyileştirme algoritmalarının daha uzun sürede sonuç üretmesine yol açmaktadır.

Örtüşen alanları ve/veya kapatma etkisini azaltarak toplam kapsama alanının artımını sağlayan pek çok çözüm ve algoritma üretilmiştir [13,14,15,16,17,18]. [15] çalışması yönlü algılayıcı ağlarda bu konu ile ilgili yapılan ilk çalışmalardan biridir. Yazarlar YAD'ların dönme özelliğinden faydalanarak yeni bir çözüm sunmuşlardır. Çözümlerinin ilk adımında, ağ, alt graflara (*Sensing Connected Sub-Graphs (SCSGs)*) ayrılır. Böylece problemi merkezi yapıdan dağıtık yapıya dönüştürüp zaman karmaşıklığını azaltmayı sağlarlar. SCSG sayısı n_s , kapsama alanı iyileştirme performansını doğrudan etkilemektedir. n_s değerinin küçük olması fazla sayıda kapsama boşluklarının olduğunun göstergesidir. Kapsama alanı problemini tarifleyebilmek için her SCSG'yi çok katmanlı dışbükey örtü (*multi-layer convex hull*) olarak modellemişlerdir. Her SCSG için dışbükey örtü oluşturulduktan sonra, bu yapılarıdaki her YAD'ın çalışma yönü kapsama alanını en yüksekte tutacak şekilde ayarlanır. Aynı dış bükey içerisinde yer alan iki

komşunun görüş alanlarının en az şekilde örtüşmesini sağlamak amacıyla, bir YAD çalışma yönünü, iki komşunun oluşturduğu açıortayın ters yönü olarak seçer. Şekil 4.2’de ilgili açıortayın nasıl belirlendiği gösterilmiştir. Yazarların sunmuş olduğu algoritma üç aşamadan oluşmaktadır.

1. SCSG’lerin bulunması için derinliğine arama (*depth-first search*)
2. Her SCSG’de oluşturulan dışbükey örtü için Graham algoritmasının kullanılması
3. Her YAD’ın, ilgili iç açığa göre hesaplanan çalışma yönüne döndürülmesi

n adet YAD, k adet dışbükey örtü ve bir SCSG’de m adet YAD olduğu varsayılan bir durumda, zaman karmaşıklığı her adım için sırasıyla $O(n^2)$, $O(km \log m)$ ve $O(n)$ ’dir.



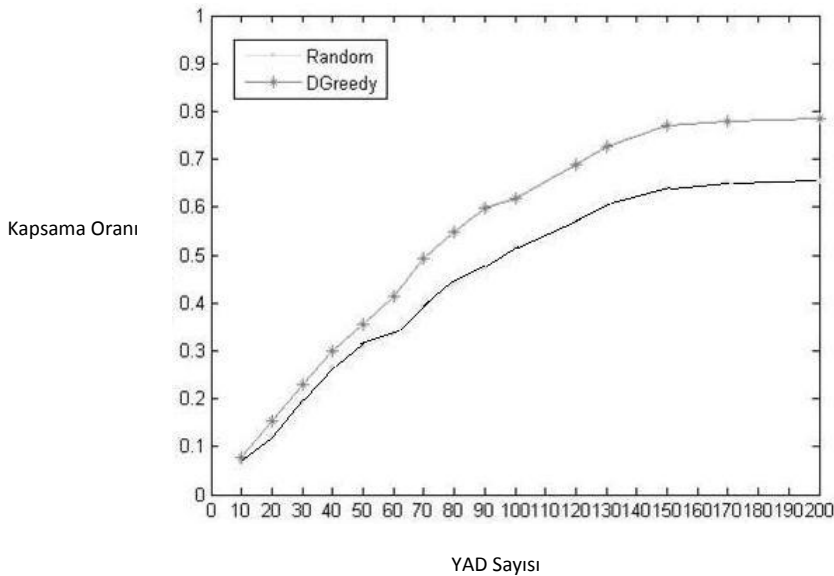
Şekil 4.2 İç açıortay yöntemi

Sayısal sonuçlar, kapsama alanının, algılama yarıçapının artışı ile arttığını göstermektedir. Fakat algılama yarıçapı bir eşik değerini geçtikten sonra kapsama alanı artımı algılama yarıçapına ters orantılı olarak artmaya devam etmektedir. Aynı ilişki kapsama alanı ile görüş açısı arasında da gözlenmiştir. Önerilen algoritmanın kapsama alanını iyileştirmesine karşın dışa dönük tek bir konumlandırma yapmasından dolayı YAD’ların iç bölgelerinin kapsama olasılığının pek mümkün olmadığı tespit edilmiştir. Özellikle bir alanın korunması için uygulanabilecek bu yöntem, tüm alanın izlenmesini gerektirecek uygulamalar için uygun bir yöntem değildir.

Cheng ve arkadaşları kapsama alanı iyileştirme problemini “Maximum Directional Area Coverage (MDAC)” olarak tanımlamışlar ve MDAC’ın NP-complete bir problem olduğunu ispat etmişlerdir [17]. Öte yandan yazarlar MDAC için dağıtık yapıda çalışan Dgreedy isimli bir algoritma önermişlerdir. Dağıtık yapıda bir çözüm üretmelerinin en önemli sebebi merkezi çözüme kıyasla ölçeklenebilir ve iletişim maliyetinin düşük

olmasıdır. Amaçları rasgele dağıtılmış yönlü algılayıcı ağlarda toplam alanı en yüksekte tutacak şekilde YAD'ların dönme yeteneğinden faydalanarak pozisyonlandırılmasıdır. Yazarlar, çalışmalarında “sanal algılayıcı (*virtual sensor*)” ve “sanal saha (*virtual field*)” olmak üzere iki yeni konsept tanımlamışlardır. Her sanal algılayıcı bir YAD'a ait tek bir çalışma yönüne karşılık gelmektedir. Sanal saha ise sanal algılayıcıların kesiştiği alanların ifade edilmesinde kullanılmaktadır.

Dgreedy algoritması her YAD için en az örtüşen yönü, çalışma yönü olarak seçmektedir. Yazarlar, çalışmalarında komşu YAD'ların $2R_s$ uzaklık içerisinde yerleştiğini varsaymışlardır. Hedef-tabanlı çözümlerde olduğu gibi, komşu YAD'ları bir sıraya koymak için her YAD'a tekil bir öncelik etiketi atanmıştır. Yüksek önceliğe sahip komşu YAD'lar karar verme önceliğine sahiptir. Yazarlar, az sayıda komşusu olan YAD'ların en yüksek kapsama alanını elde etmede kritik bir öneme sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Bundan dolayı, öncelik belirlemek için komşu sayısını kriter olarak kullanmışlardır. Az sayıda komşuya sahip YAD'ların yüksek önceliği sahip olmasını sağlamışlardır. Dgreedy algoritması, rasgele dağıtım ile karşılaştırılmış ve kapsama alanını oldukça iyileştirdiği gözlenmiştir (Şekil 4.3). Yoğun ağlarda örtüşme oranının yüksek olması nedeniyle iyileştirmenin daha fazla olduğu görülmüştür.

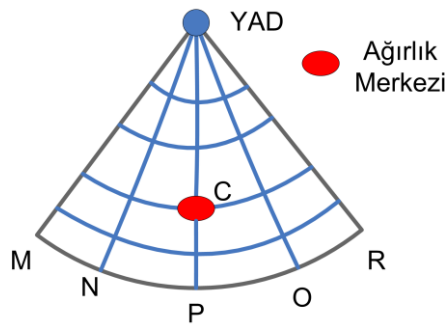


Şekil 4.3 Dgreedy algoritmasının performans analizi [17]

Sanal güç teorisine dayalı birçok çözüm dairesel-yönlü hareketli algılayıcı ağlarda kullanılmıştır [54,78]. Zhao ve Zheng bu yaklaşımı telsiz çoklu ortam algılayıcı ağlar için kullanmışlardır [16,79]. Çalışmalarında, elektriksel kuvvetlerden faydalanarak YAD'ların çalışma yönlerini belirleyen bir algoritma (*EFCEA*) tasarlamışlardır. Ayrıca ağ yaşam süresini arttırmak için görüş açıları örtüşen bazı YAD'ların uyutulmasını sağlamayı önermişlerdir. YAD'ların uyandırılması için bir korelasyon değerinden faydalanmışlardır. Zhao ve Zheng birçok çalışmada olduğu gibi problemi daha kolay tarifleyebilmek adına grid-tabanlı bir yaklaşım kullanmışlardır. Her komşu YAD'ın elektrik yükü, kapsadığı grid sayısı ile temsil edilmektedir. İki YAD arasındaki itme kuvveti elektrostatik alan teorisindeki Coulomb yasasına göre tanımlanmıştır. Bu kuvvetlerin Şekil 4.4'te gösterildiği gibi YAD'a ait görüş alanının merkezine etki ettiği kabul edilmiştir. Uygulanan itme kuvveti F_i , Eşitlik 4.2' de şu şekilde tariflenmiştir.

$$F_i = \sum_{j=1}^m k \times \frac{q_{ij}}{d^2} r_0 \quad (4.2)$$

k sabiti alanın gücünü, r_0 birim vektörü ve kuvvetin yönünü, d iki YAD arasındaki mesafeyi, q_{ij} komşu YAD'ların neden olduğu örtüşen alanların boyutunu, m ise komşu YAD sayısını ifade etmektedir. Algoritmanın sonlaması için tüm YAD'ların "denge" konumuna ulaşması gerekmektedir. Bir YAD'ın dengeye ulaşabilmesi ise kendisine uygulanan kuvvetlerin belirli eşik değerinin altına düşmesi ile mümkündür.



Şekil 4.4 Bir YAD'a ait görüş alanının ağırlık merkezi

EFCEA algoritmasının performansı kullanılan YAD sayısına bağlıdır. YAD sayısı az olduğunda elde edilen iyileştirme kazancı daha fazla olurken, çok yoğun ağlarda, boş alan çok bulunamadığı için kazanç çok fazla olmayacaktır. Fakat, yoğun ağlarda da

görüş açısı örtüşen bazı YAD'ların uyutulması ile ağ yaşam süresinin uzatılması mümkün olabilecektir.

[13] çalışmasında, yazarlar mevcut problemi “*Optimal Coverage Problem in Directional Sensor Networks (OCDSN)*” olarak tanımlamışlardır. Diğer çalışmalarda olduğu gibi dağıtılan YAD'ların arasından en az YAD uyandırılarak en fazla kapsama alanı sağlanması hedeflenmiştir. OCDSN problemini çözmek için Voronoi diyagramlarından faydalanan açgözlü bir yakınsama algoritması önermişlerdir. Voronoi diyagramı hesaba dayalı geometride oldukça önemli bir veri yapısıdır [80]. Ayırık bir noktalar kümesinden faydalananak elde edilir. Yönlü algılayıcı ağda Voronoi diyagramı oluşturmak aynı zamanda o ağa ait en zayıf yolun (*maximal breach path*) oluşturulması anlamına gelir. Ağ içerisinde geçen bir hedefin yakalanma olasılığı bu yol üzerinde en düşüktür. Yazarlar, çalışmalarında hareketli bir algılayıcı düğümden faydalanmışlardır. Bu algılayıcı düğüm ilk dağıtımdan sonra oluşturulan Voronoi diyagramların kenarları üzerinden gezerek ağ ile ilgili genel bir bilgi toplar. Bu düğüm hareket ederken geçtiği bölgelerin aktif bir YAD tarafından izlenip izlenmediğini kontrol eder. Eğer aktif bir YAD yoksa, kendi algılama yarıçapı içerisinde, bulunduğu noktayı izleyebilecek aktif olmayan bir YAD olup olmadığını sorgular. Bu yaklaşım ile kendisine en yakın, aktif olmayan YAD'ı uyandırır ve bu YAD'ın çalışma yönünü bulunduğu kenarı kapsayacak şekilde çevirmesini sağlar.

N adet YAD'ın bulunduğu bir ortamda Voronoi diyagram oluşturma karmaşıklığı en iyi ihtimalle $O(n \log n)$ 'dir. Hareketli algılayıcının Voronoi diyagramının tüm kenarlarını gezme karmaşıklığı ise $O(n)$ 'dir. En kötü senaryoda, her kenar için n adet YAD yakalama olasılığı söz konusudur. Bu bilgilerden yola çıkarak algoritmanın toplam karmaşıklığı $O(n \log n) + O(n^2)$ ile ifade edilir.

YAD sayısı, algılama yarıçapı ve görüş açısının kapsama alanı üzerindeki etkisi MATLAB üzerinde gerçekleştirilen testler ile incelenmiştir. Yazarlar, önerdikleri algoritmayı rasgele dağıtım algoritması ile karşılaştırmış ve algoritmalarının daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir.

Bazı algılayıcı uygulamaları yüksek güvenilirlik ihtiyacı duyarlar. Bu nedenle, gözetlenen noktaların k adet algılayıcı tarafından takip edilmesi istenir. Bu tür problemler

literatürde yönlü algılayıcı ağlarda k-kapsama problemi olarak adlandırılır [59,65]. [59] çalışmasında, Fusco ve Gupta, verilen bir alandaki hedefler kümesinin k adet kapsanabilmesi için gerekli en az YAD seçimi ve çalışma yönlerinin belirlenmesi problemini tariflemişlerdir. Yazarlar, $M \times \log k |C|$ adet YAD kullanılarak hedeflerin yarısının k adet kapsanmasını sağlayan basit açgözlü bir algoritma tasarlamışlardır. C hedef sayısını, M ise hedeflerin k adet kapsanması için gerekli en az YAD sayısını ifade etmektedir.

Şu ana kadar sunulan tüm kapsama alanı iyileştirme çalışmalarında 2B yönlü algılama modeli kullanılmıştır. Fakat, bir görüntü algılayıcısının 2B yönlü algılama modeli ile gerçekçi tariflenmesi tam olarak mümkün değildir. Öte yandan, 3B yönlü algılama modelinin oldukça karmaşık olması sebebiyle birçok araştırmacı 2B alanlar için mevcut problemi ele almışlardır. Bildiğimiz kadarıyla sadece bir çalışmada [14], 3B alanlar için kapsama alanı iyileştirme modeli tasarlanmıştır. Ma ve diğerleri sanal kuvvet teorisinden yola çıkarak bir kapsama alanı iyileştirme algoritması geliştirmişlerdir. *“Virtual-force-analysis based area coverage enhancing algorithm (VFA-ACE)”* algoritmasında YAD’ların yeni çalışma yönleri, [16] çalışmasında olduğu gibi komşu YAD’ların uygulamış olduğu kuvvetlerden yola çıkarak belirlenir. Sanal kuvvetlerin uygulandığı nokta 3B kapsama alanının merkezi olarak kabul edilir. VFA-ACE algoritması tüm YAD’ların bir başka deyişle yönlü algılayıcı ağın denge konumuna ulaşması ile sonlanır.

Tüm alanın kapsanmasının optimize edilmesi problemi NP-hard bir problemdir. Yazarlar, optimizasyon hedefleri ile ayarlanabilir parametreler arasında analitik bir ilişki kuramadıkları için sezgisel bir optimizasyon tekniği seçmişlerdir. *“Simulated Annealing (SA)”* algoritması 3B yönlü algılayıcı ağlarda YAD’ların çalışma yönlerini merkezi bir çözümle optimum oluşmasını sağlar.

VFA-ACE ve SA-ACE algoritmaları üç boyutlu simülasyon platformu 3DSenetest 1.0’da gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, SA-ACE’nin daha hızlı yakınsadığını göstermiştir.

4.2.3 Bağlanabilirlik Garantili özümle

Dairesel-yönlü algılayıcı ağlarda olduğu gibi yönlü algılayıcı ağlarda da her YAD'ın ağa bağlanabilirliği, ağ güvenirliliği açısından çok önemlidir. Bu problem çok uzun zamandır tartışılan ve çözümü birçok disiplinin bir araya gelmesiyle elde edilebilen bir problemdir [72,81]. Son dönemde, bu problemin alt problemi olan bir ağda tam bağlanabilirliği sağlamak için oluşturulan optimum yerleştirme problemi oldukça ilgi çekmektedir [76].

Algılama/iletişim mesafe ve modelleri yönlü algılayıcı ağlarda dağıtım/yerleştirme stratejisini doğrudan etkilemektedir. Birçok alışmada, YAD'lar yöne bağlı algılarken, iletişimlerini dairesele-yönlü gerçekleştirirler. Bu çalışmaların çoğunda da iletişim yarıçapının, algılama yarıçapından en az iki kat daha büyük olduğu kabul edilir ($R_c \geq 2R_s$). Fakat, bazı araştırmacılar kapsama problemini bağlanabilirlik kısıtını gözönünde bulundurarak ele almaktadır. Bu araştırmacıların amaçları bağlanabilirliği garanti altına alarak kapsama alanını en yüksekte tutmaktır. Özellikle, dağıtık yapıdaki özümlede komşu bölgedeki YAD'ların tespit edilmesi iletişim mesafesine göre gerçekleşir. Bu nedenle bağlanabilirlik kapsama alanı iyileştirme problemi için oldukça önemlidir.

Yönlü algılamaya benzer olarak bazı YAD'lar antenlerine bağlı olarak yönlü iletişim kısıtına sahip olabilirler. Yönlü antenlerin en önemli artısı bir yöne odaklandıkları için iletişim sırasında harcadıkları enerjinin görece düşük olmasıdır. Ayrıca tek bir yönde çalışmaları, karışma (*interference*) ve sönümlenme (*fading*) ihtimallerini düşürmektedir [82,83]. Son zamanlarda, yönlü antenlerin küültölmesine yönelik birçok çalışma yayınlanmıştır [84-86]. Bu nedenle, yönlü antene sahip YAD'ların kullanımı yaygınlaşmıştır. Yönlü iletişim modeli, yönlü algılama modeline oldukça benzemektedir [87].

[88] çalışmasında, yazarlar düzlemsel bir alanda yönlü antenlere sahip algılayıcı düğümlelden oluşan bir ağda tam kapsama elde edebilme problemini ele almışlardır. Tam kapsama elde edebilme olasılığını YAD sayısı, görüş açısı ve iletişim yarıçapı açısından vermişlerdir. Öte yandan birçok YAD dairesele-yönlü antenlere sahiptir. Yönlü algılayıcı ağlarda bağlanabilirlik garantili alan kapsama problemini ilk olarak Han ve arkadaşları ele almıştır. Hedef veya toplam alan kapsamanın iyileştirilmesini

hedefledikleri çalışmalarında bağlanabilirlik kısıtını da gözönünde bulunduracak bir çözüm üretmişlerdir. Yazarlar, problemi (*Connected Point-Coverage Deployment (CPD)*) NP-hard olarak tanımlamışlardır. CPD için iki yaklaşma (approximation) algoritması önermişlerdir. Birinci algoritmanın yaklaşım oranı, hedef sayısının P olarak verildiği bir örnek için $\log P + 1$ 'dir. İkinci algoritma ise sadece 60° 'den büyük görüş açıları için çalışmaktadır ve yaklaşım oranı 9'dur. Toplam alanının iyileştirilmesi problemi ise "Connected Region-Coverage Deployment (CRD)" olarak tanımlanmıştır. CRD ise bir alanda YAD'ların bağlanabilirlik koşulu altında en iyi hangi örüntü ile yerleştirilmesi gerektiği problemini çözmektedir. Yazarlar, daire-tabanlı ve örüntü-tabanlı olmak üzere iki adet yerleştirme yöntemi önermişlerdir. Hem hedef kapsama hem de alan kapsama problemleri iletişim mesafesini, algılama yarıçapını ve görüş açısını giriş parametresi olarak kabul etmektedir.

Kapsama alanı iyileştirmede bağlanabilirlik garantili problemler, yönlü algılayıcı ağlarda hala üzerinde fazla çalışılmamış problemlerdir. Basit olmayan bu problemlerin daha detaylı incelenmesi ihtiyacı vardır.

4.2.4 Ağ Yaşam Süresi Uzatan Çözümler

Sınırlı pil kapasitelerinden dolayı YAD'ların enerji harcayan aktivitelerini yönetme ve kontrol etme gereklilikleri vardır. Ağ yaşam süresini uzatabilmek için her YAD gereksiz enerji tüketiminden kaçınmalıdır. Telsiz algılayıcı ağlarda olduğu gibi [89-91], yönlü algılayıcı ağlarda da ağ yaşam süresini uzatabilmek için YAD'ların çalışma zamanlarının planlanması (*scheduling*) en bilinen çözümdür [92]. Zaman planlamada fazla YAD'ların uyutulması ve gerektiğinde tekrar uyandırılmaları hedeflenmektedir.

Kapsama alanı iyileştirme algoritmaları, ilk dağıtım sonrası YAD'ların çalışma yönlerini düzenlerken hangi YAD'ların aktif kalacağına karar verir. Fakat, zaman içinde aktif YAD'ların uyuyan YAD'lar ile değişimi ve tam tersi tekrar tekrar gerçekleşmelidir. Bu amaçla, literatürde birçok zaman planlama algoritması önerilmiştir [56,93].

Ai ve Abouzeid, [10] çalışmasında YAD'ların kalan enerjilerine bağlı olarak uyutup uyandırılmalarını yöneten dinamik zaman planlama algoritması (*Sensing Neighborhood Cooperative Sleeping (SNCS)*) sunmuşlardır. SNCS algoritması iki aşamadan oluşur;

zaman planlama ve *algılama*. Zaman planlama aşamalarında tüm YAD'lar uyanır. Önerdikleri DGA algoritmasına göre her YAD'ın statüsüne karar verilir. Karar sonrası inaktif kalması gereken YAD'lar uyutulurken, uyanık kalan YAD'lar görevlerini yerine getirmeye (*algılama*) devam ederler. Bu iki aşama periyodik olarak devam eder. DGA algoritması, YAD'lara verilecek öncelik etiketini YAD'ların kalan enerjisine göre belirler. Kalan enerji, YAD'ın davranışlarına (iletişim, uyuma, algılama vb.) göre değişiklik gösterir. Kapsama alanı iyileştirme ile ağ yaşam süresinin uzatılması arasında bir ödünleşim (*trade-off*) söz konusudur. SNCS ağ yaşam süresini uzatırken, *MCMS* problemini çözme hedefler.

SNCS algoritmasına benzer şekilde, WT-Greedy ve WT-Dist algoritmaları da [11] YAD'ların çalışma yönlerinin çakışmayacak şekilde belirlenmesinde kalan enerjilerini dikkate almaktadır. WT-Greedy algoritması, her YAD kümesinin belirli bir sabit zaman dilimi için görev yapmasını sağlayan merkezi bir çözümdür. Algoritma, en az YAD ile kapsanabilecek, kapsanmayan hedeflerin bulunup, en yüksek pil durumuna sahip YAD'lar tarafından kapsanmasını sağlar. İlgili hedef, ilgili YAD'a atandıktan sonra YAD hedefi kapsayacak şekilde çalışma yönünü değiştirir. Tüm YAD'ların pil durumlarının belirli bir eşik seviyesi altına düşmesiyle algoritma sonlanır. WT-Dist ise dağıtık yapıda çalışan, *dağıtım* ve *izleme* olmak üzere iki aşamadan oluşan bir algoritmadır. Dağıtım aşaması DCS-Dist algoritması ile aynıdır. İzleme aşamasında, her YAD kendi komşularının durumlarına göre en fazla hedefi kapsayacak şekilde kendi çalışma yönüne karar verir. Simülasyon sonuçları, kapsama alanı miktarlarının zaman içinde azaldığını göstermektedir. Bunun en önemli nedeni, algoritmaların hem kapsama alanını en yüksekte tutmayı hem de ağ yaşam süresini uzatmayı hedeflemesidir. Öte yandan, dağıtık yapıda bir çözüm olmasından dolayı WT-Dist algoritmasındaki ağ yaşam süresindeki düşüşün WT-Greedy algoritmasına göre daha hızlı gerçekleştiği gözlenmiştir.

Yazarlar, [16] çalışmasında kapsama alanı ve ağ yaşam süresi arasındaki ödünleşimi incelemişlerdir. Çalışmalarında, örtüşme oranı belirli bir eşik üzerinde yer alan YAD'ların uyutulmasını önermişlerdir. Öte yandan, YAD'ların uyutulması için bir YAD'ın komşuları ile olan uzaklığını kullanmışlardır. Önerilen algoritma, ilk dağıtım sonrası bir defa ve denge durumuna ulaşana kadar çalışır. Yazarlar, %40 oranında YAD'ları

uyutmalarına rağmen kapsama alanını %3 arttırabilmeyi başarmışlardır. Çalışmaları sonucunda, YAD'ların çalışma yönlerinin doğru seçimi ile kapsama alanının oldukça arttırılabildiği, fazla YAD'ların uyutularak ağ yaşam süresinin uzatılabildiği ispatlanmıştır.

Wen ve arkadaşları [63] çalışmasında YAD'ların uyutulması için yeni bir dağıtık protokol önermişlerdir. "Neighbors Sensing Scheduling (NSS)" protokolü sadece yerel bilgiyi kullanarak zaman planlaması yapmaktadır. Bu protokol, YAD'lar arasında birden fazla kapsama kümesi oluşturup, farklı zamanlı dilimlerinde görev yapmalarını sağlamaktadır. Protokole göre uyuyan bir YAD, etrafındaki komşuların pil durumlarının kendisinininkinin altına düşmesiyle uyanır. Tam tersi bir durumda, uyanık bir YAD etrafındaki tüm hedefler başka YAD'lar tarafından kapsanıyorsa kendini uyku moduna alır. Algoritmalarının performansını ölçmek amacıyla dairesel-yönlü algılayıcı ağlar için oluşturulmuş merkezi bir çözüm (Greedy-MSC) [94] seçmişlerdir. Aynı şartları sağlayabilmek amacıyla görüş açısını 360° olarak belirlemişlerdir. Sayısal sonuçlar, NSS'nin Greedy-MSC ile benzer sonuçlar ürettiğini göstermiştir. NSS'nin dağıtık yapıda çalışan bir algoritma olması özellikle düşük iletişim maliyeti nedeniyle tercih edilmesini kolaylaştırmaktadır.

Şu ana kadar anlatılan çalışmalar matematiksel ve geometri modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların dışında, özellikle video algılayıcı ağlarda görüntü işleme teknikleri kullanılarak çakışan görüş alanları tespit edilmeye çalışılmaktadır. Bai ve Qi çalışmalarında [57], Extend Speeded-UP Robust Features (E-SURF) görüntü karşılaştırma algoritmasını kullanmışlardır. E-SURF algoritması, SURF [95] ve SIFT [96] algoritmalarını temel almaktadır. Anlamsal komşu seçimi ile fazla YAD'ların uyutulması hedeflenmiştir. Yazarlar, %10 kapsama alanı kaybına rağmen ağ yaşam süresini iki kat uzatmayı başarmışlardır. SURF ile karşılaştırıldığında E-SURF'in daha hızlı çalıştığı ve daha az iletişim maliyeti gerektirdiği gözlenmiştir.

4.3 Sonuç

Yapılan literatür çalışmasında, yönlü algılayıcı ağlarda araştırmaların kapsama alanı iyileştirme ve ağ yaşam süresini uzatma hedeflerini gerçekleştirmek üzerine olduğu gözlenmiştir. Kapsama alanı iyileştirmede temel olarak hedef veya toplam alan seçimi

yapıldığı tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında yönlü algılayıcı ağlarda toplam alanın iyileştirilmesi problemi ele alınmıştır. Toplam alan iyileştirmede, dönme ve hareket yeteneklerinin kapsama alanı ve enerji tüketimine etkisi incelenmiştir.

YÖNLÜ ALGILAYICI AĞLARDA HİBRİT HAREKET STRATEJİSİ

Yönlü algılayıcı ağlarda, kapsama alanı problemini çözmek için kullanılan mevcut (geleneksel) yöntemler Bölüm 4.1’de anlatılmıştır. Bu yöntemler arasında en fazla tercih edilen dönme yeteneğidir. Maliyeti ve enerji tüketimi yüksek olan hareket yeteneği ise sadece bir çalışmada [19] değerlendirilmiştir. Bu bölümde, ilk olarak yönlü algılama ve kendi kendine organize olabilme kavramlarından bahsedilecek, bir sonraki adımda ise geleneksel yöntemlerin olumlu özelliklerini sistematik bir yaklaşım içerisinde değerlendiren yeni bir yaklaşım, “hibrit hareket stratejisi” tanıtılacak ve hibrit hareket stratejisini kullanan, “motility assisted mobility (MAM)” yöntemi detaylı olarak anlatılacaktır.

5.1 Yönlü Algılama ve Kendi Kendine Uyum Sağlama

Video kamera, kızıl ötesi ve sesüstü cihazlar, yönlü algılama modeline sahip en çok bilinen algılayıcılardır. Kısıtlı bir görüş alanına sahip bu algılayıcıların temel özellikleri algılama yarıçapları R_s , görüş açıları $AoV(\alpha)$ ve çalışma yönleri $(\vec{W}_d)$ ile gösterilmektedir. Dairesel yönlü bir algılayıcıdan farklı olarak, dönebilme yeteneğine sahip bir YAD birden fazla çalışma yönüne sahiptir. Ancak, bir YAD, herhangi bir t zamanında sadece bir yönde algılama yapabilmektedir. YAD’ların bir diğer olumsuz tarafı ise görüş açılarının engeller tarafından kısıtlanabilmesidir. Bununla, ilgili kapatma etkisini en aza indirmeyi hedefleyen az sayıda da olsa çalışmalar yapılmıştır [49][97].

Bu tez çalışmasında, kendi kendine uyum sağlama özelliği, YAD'ların dönebilme ve hareket yeteneklerine karşılık gelmektedir. Dönebilme mekanizmasına sahip bir YAD, kendi çalışma yönünü, ilk dağıtım sonrası veya ağ yaşam süresi içerisinde ayarlayabilir. Bu özellik dönme olarak ifade edilir ve toplam kapsama alanının iyileştirilmesine katkıda bulunur. Toplam kapsama alanını iyileştirmek için kullanılan bir diğer yöntem ise hareket yeteneğinden faydalanmaktır. Kendi kendine uyum sağlama özelliğine sahip YAD'lar yeteneklerine göre etraflarında dönmeyi veya hareket etmeyi tercih edebilirler. Kendi kendine uyum sağlayabilen YAA'da, her YAD kendi pozisyonunu ve çalışma yönünü komşu YAD'lardan aldığı bilgileri kullanarak belirli bir algoritma yardımıyla belirleyebilmektedir.

N adet YAD'dan oluşan bir algılayıcı grubunun $S = (s_1, s_2, \dots, s_N)$, A ile gösterilen bir alana rasgele dağıtıldığını varsayalım. Ayrıca, her YAD'ın, pozisyon bilgisini öğrenme yeteneğine [98] sahip olduğunu farz edelim. Bu bağlamda, algoritmalarımızda kullandığımız bazı tanımlardan bahsetmek problemin ve çözümün anlaşılmasını kolaylaştıracaktır.

Tanım 1. *Algılama Yarıçapı (R_s).* Bir YAD'ın algılama yarıçapı, görüş alanının derinliğini ifade eder. Algılama yarıçapı ne kadar büyükse, görüş alanı da o kadar büyüktür.

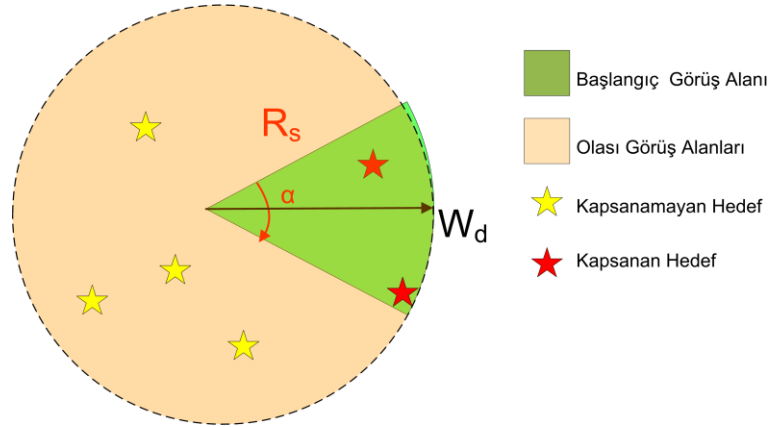
Tanım 2. *İletişim Yarıçapı (R_c).* İletişim yarıçapı, bir YAD'ın, başka bir YAD'ın yardımı olmadan, sinyal gönderebildiği/alabildiği en uzak noktadaki YAD'a olan uzaklığıdır. Eşitlik 5.1'deki $d(i, j)$, s_i ve s_j YAD'ları arasındaki mesafeyi göstermektedir. Bir ağda, $R_c \geq kR_s$ ($k \geq 2$) kabul edildiğinde, eğer $d(i, j) \leq R_c$ ise s_i ve s_j YAD'ları komşudurlar. Bu YAD'lar, örtüşmeyen alanları bulmak için birbirlerinden gelen bilgileri kullanırlar. s_i ve s_j arasında karşılıklı tek-atlamalı veri alışverişi yapılabilirse, s_i ve s_j arasında bir iletişim hattı olduğu kabul edilir. Birçok çalışmada, $k = 2$ olarak seçilmiştir. Ancak, bazı özel YAD'ların iletişim yarıçapları, algılama yarıçaplarının en az üç katıdır. Bu çalışmada, $R_c = 2R_s$ olarak seçilmiş ve YAD'ların dairesel-yönlü iletişim kurdukları varsayılmıştır.

$$d(i, j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (5.1)$$

Tanım 3. Görüş Açısı (AoV). AoV , bir YAD'ın görüş açısının genişliğini ifade eder. Bazı teknik kısıtlar ve/veya yüksek maliyet nedeniyle, yönlü algılayıcıların görüş açıları dardır ($\alpha \leq 150^\circ$). Görüş açısının 360° olduğu senaryolarda, YAD'ın algılama modeli dairesel-yönlü olarak kabul edilir.

Tanım 4. Çalışma Yönü ($\vec{W}_d$). Bir YAD'ın bakış yönü, o YAD'ın çalışma yönünü gösterir. YAA'larda rasgele dağıtım sonrası, YAD'ların çalışma yönleri çok farklı olabilmektedir. Bu durumda, YAD'ın kapsama alanını iyileştirebilmek için dönme yeteneğini kullanarak çalışma yönünü yeniden belirlemesi gerekir. Çalışma yönünün yeniden belirlenmesi için gerekli bilgi komşu YAD'lardan temin edilebilir.

Tanım 5. Görüş Alanı (FoV). Bir YAD'ın görüş alanı, üzerindeki algılayıcının kapsadığı sektörel birime (sectoral unit) eşittir. 2B uzay için bir s YAD'ına ait görüş alanı 4 adet parametre ($P, R_s, \vec{W}_d, \alpha$) ile ifade edilir. P , YAD'ın konumunu, R_s , algılama yarıçapını, $\vec{W}_d$, çalışma yönünü, α ise görüş açısını göstermektedir. 2B uzay için tanımlı yönlü algılama model Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

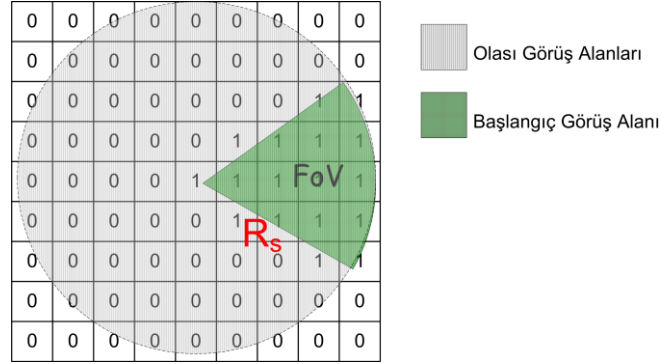


Şekil 5.1 Bir YAD'a ait görüş alanı

5.1.1 Grid-tabanlı Modelde Hedef-Görüş Alanı Testi

Bu tez çalışmasında, kapsama alanı problemi için önerilen çözümlerde grid-tabanlı yaklaşım [77] ve Hedef-Görüş Alanı (*Target In Sector (TIS)*) [10] testinden yararlanılmıştır. Grid-tabanlı yaklaşımda, alan, gridlerin yardımıyla birtakım hücrelere ayrılır. Her hücre, gözetlenen alandaki bir noktayı temsil eder. İkili algılama modeline

göre bir YAD, teorik olarak görüş alanındaki her noktayı kapsamaktadır. Şekil 5.2’de bir YAD’ın başlangıç görüş alanını ve olası görüş alanlarını grid-tabanlı yaklaşımdan faydalananarak göstermektedir.



Şekil 5.2 Grid-tabanlı görüş alanı

TIS testi, bir hedefin, bir YAD’ın görüş alanı içerisinde olup olmadığını bulmak için kullanılır. Eşitlik 5.2 ve 5.3’te verilen iki koşul yardımıyla, bir hedefin (t) , (s) YAD’ı tarafından kapsanıp kapsanmadığı test edilir. P_s ve P_t , sırasıyla s düğümünün ve t hedefinin konum bilgilerini ifade etmektedir.

$$d(P_s, P_t) \leq R_s \quad (5.2)$$

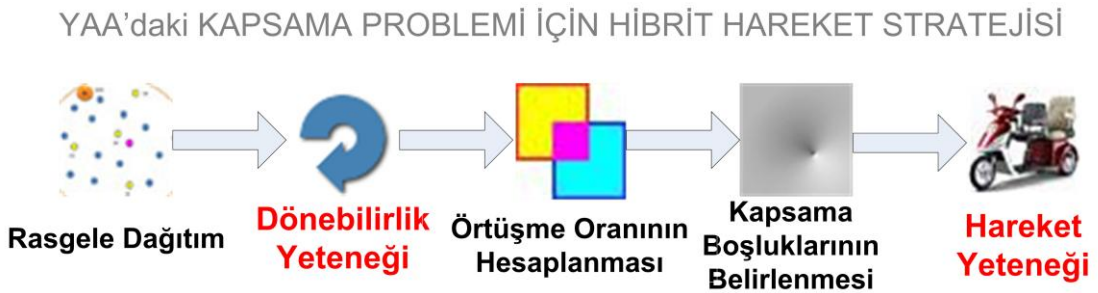
$$\overrightarrow{P_s P_t} \bullet \overrightarrow{W_d} \geq d(P_s, P_t) \times \cos(\alpha/2) \quad (5.3)$$

$d(P_s, P_t)$, hedef (t) ile YAD (s) arasındaki uzaklığı ifade etmektedir. Eşitlik 5.2, hedefin (s) YAD’ının algılama yarıçapı içerisinde olduğunu garanti ederken, Eşitlik 5.3, görüş açısı testini gerçekleştirir. İkili algılama modeline göre her iki koşul sağlanıyorsa hedef algılanabilir demektir. Bu yaklaşım genel olarak hedef-tabanlı kapsama problemlerinde kullanılmaktadır [10,11,63,77].

Araştırmacılar bu test modelini alan kapsama problemlerinde kapsanan ve kapsanmayan noktaları bulabilmek için tercih etmektedirler. Grid-tabanlı yaklaşım ile TIS testi ortaklaşa kullanıldığında bir alandaki kapsan(may)an bölgeler rahatlıkla hesaplanabilmektedir. Bir (s) YAD’ı etrafındaki tüm noktalar TIS testinden geçirilerek kapsan(may)an noktalar Şekil 5.2’de olduğu gibi kapsama haritasına işaretlenir.

5.2 Hibrit Hareket Stratejisi

Kapsama alanı iyileştirme rasgele dağıtımın yapıldığı yönlü algılayıcı ağlarda önemli bir ihtiyaçtır. İlk dağıtım sonrası, gözetlenen alanda YAD'ların pozisyon ve çalışma yönlerine bağlı olarak örtüşen bölgelerin oluşması kaçınılmazdır. Ayrıca, sınır bölgelerdeki YAD'ların çalışma yönlerine bağlı olarak istenilen bölgenin dışındaki bir alanı kapsama olanağı da söz konusudur. Hem örtüşen bölgeleri en aza indirmek hem de sınır YAD'ları gözetlenen bölgeye döndürmek amacıyla bu tez çalışmasında dönme ve hareket yeteneklerinin ardışıl kullanımı önerilmiştir. Dönme yeteneğinin literatürde kullanımı düşük maliyeti ve basit bir çözüm olmasından dolayı hareket yeteneğine oranla daha yaygındır. Fakat, doğası gereği dönme yeteneği tüm kapsama boşluklarının ortadan kaldırılması için uygun değildir. Bir YAD'ın kendi algılama yarıçapı içerisinde sadece bir pasta dilimi boyutunda bir bölgeyi kapsadığı düşünüldüğünde, o YAD'ın sadece kendi algılama yarıçapı içerisinde kalan boşlukları doldurabileceği anlaşılmaktadır. Bu nedenle, herhangi bir YAD'ın algılama yarıçapı içerisinde kalmayan kapsama boşluğunu ortadan kaldırmak için hareket yeteneğinden faydalanmak gerekir. Ancak, hareket yeteneği yüksek üretim maliyeti ve enerji tüketimi nedeniyle oldukça pahalı bir çözümdür [21]. Bu durum, hareket yeteneğinin kontrollü kullanımını gerektirir. Her iki çözümün olumlu yönlerini biraraya getirebilmek amacıyla bu tez çalışmasında yeni bir yaklaşım olan “hibrit hareket stratejisi” ortaya atılmıştır. Hibrit çözümde, ilk dağıtım sonrası önce dönme yeteneğinden faydalanarak örtüşen alanlar ve kapatma etkisi en aza indirgenir. Bir sonraki adımda, etrafta kapsama boşluklarının olup olmadığı kontrol edilir. Görüş alanları örtüşen YAD'lar ve etraflarında kapsama boşlukları varsa gerekli YAD'lar bu boşlukları kapatmak üzere ilgili bölgelere hareket ettirilir. Hibrit çözüme ait blok diyagram Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3 Hibrit Hareket Stratejisi

Hibrit çözüm, yönlü algılayıcı ağlardaki kapsama alanı problemi için literatürde özgün bir yaklaşımdır. Dönme ve hareket yeteneklerinin birarada ardışıl kullanımını özendiren bu yaklaşım bahsedildiği gibi iki aşamadan oluşur. *dönme yeteneği* ve *hareket yeteneği*. Bu yaklaşımın aşamalarına dönme veya hareket yeteneklerinden faydalanan herhangi bir çözüm kolayca adapte edilebilir. Hibrit hareket stratejisinin sağladığı kazancı göstermek için mevcut çözümleri kullanmak yerine dönme ve hareket yeteneklerinden faydalanan yeni algoritmalar tasarlanmıştır. Dönme yeteneğinden faydalanan tasarladığımız Çekim Merkezi Algoritması (*Attractive Forces of Uncovered Points (AFUP)*) [99] ve Ağırlıklı Çekim Merkezi Algoritması (*Weighted Attractive Forces of Uncovered Points (W-AFUP)*), toplam kapsama alanı iyileştirmede mevcut çözümlerden daha başarılı sonuçlar üretmiştir. Buna ek olarak W-AFUP algoritması engelli ortamlar için literatürde mevcut olan çalışmadan [49][97] daha iyi bir kapsama alanı iyileştirme oranı sağlamıştır. Öte yandan, YAD'ların hareket yeteneğini kullanarak tasarladığımız Pencere-tabanlı Komşu Bölge Tarama (*Window-based Neighborhood Exploring (WNE)*) ve Enerji-Dengeli Pencere-tabanlı Komşu Bölge Tarama (*Energy-Aware WNE*) algoritmaları hibrit çözümde hareket yeteneğinin sağladığı kapsama alanı iyileştirme oranlarını net bir şekilde ortaya koymamızı sağlamıştır.

5.3 Dönme Yeteneği

Bu yeteneği kullanarak görüş açısı örtüşen YAD'ların çalışma yönlerinin boş alanlara döndürülmesi hedeflenmektedir. Bu tez çalışması kapsamında iki adet dağıtık yapıda çalışan dönme yeteneğinden faydalanan algoritma tasarlanmıştır. Her iki algoritma da YAD'ların yeni çalışma yönlerini belirlemek için sadece yerel bilgileri kullanmaktadır.

5.3.1 Çekim Merkezi Algoritması

İlk dağıtım sonrası, örtüşen alanların ve kapatma etkisinin azaltılabilmesi ve kapsama boşluklarının giderilebilmesi için YAD'ların çalışma yönlerinin yeniden belirlenmesi gerekir. Bir YAD'ın çalışma yönünün ($\vec{W}_d$) boş bölgelere yönlendirilmesi için YAD'ın algılama yarıçapı içerisinde kalan her boş noktanın YAD üzerinde pozitif bir kuvvet uyguladığı kabul edilir. AFUP, bu çekim kuvvetlerinden faydalanan her YAD için

uygun çalışma yönünü ($\overrightarrow{W_d}$) belirler. Algoritma, her hücrenin gözetlenen bölgedeki bir noktayı temsil ettiği varsayılan grid tabanlı yaklaşımı kullanır.

AFUP, temel olarak iki adet harita kullanır; *kapsama haritası* ve *kuvvet haritası*. Her YAD kendi kapsama haritasına görüş alanı içerisinde yer alan noktaları ve algılama yarıçapı içerisinde kalan komşu YAD'ların kapsadığı noktaları işaretler. Kuvvet haritası kapsama haritasından faydalanarak oluşturulur. Kapsanmayan noktalar, çekim kuvveti olarak düşünülür ve "0" ile temsil edilir. Kapsanan noktalar ise "1" ile ifade edilir. AFUP algoritması için üç adet mesaj tipi tanımlanmıştır. *DISCOVER_MSG*, *NEIGHBORHOOD_MSG* ve *WD_MSG*. *DISCOVER_MSG* ve *NEIGHBORHOOD_MSG* mesaj tipleri AFUP_INIT aşamasında kullanılırken, *WD_MSG*, AFUP_NODE aşamasında her iterasyonda YAD'lar arasında çalışma yönünün değiş tokuşu için tanımlanmıştır. Algoritma iki temel aşamadan oluşmaktadır; *AFUP_INIT* ve *AFUP_NODE*.

AŞAMA 1. AFUP_INIT aşamasında ağ içerisinde her YAD için alt gruplar oluşturulur. Alt grubu temsil eden YAD'ın komşu sayısına göre YAD'ların karar verme önceliği belirlenir. N adet YAD dağıtılan bir senaryoda, her YAD, *DISCOVER_MSG* aracılığıyla iletişim yarıçapı ($R_c = 2R_s$) içerisinde kalan komşu YAD'lar ile bilgi alışverişinde bulunur. *DISCOVER_MSG*, ilgili YAD'ın, id , yer bilgisi (P) ve mevcut çalışma yönü ($\overrightarrow{W_d}$) bilgilerini taşır. Keşif aşamasından sonra, her YAD'ın en az bir alt gruba ait olduğu N adet alt grup oluşturulur. Bir sonraki adımda, YAD'lar komşu sayılarını *NEIGHBORHOOD_MSG* aracılığıyla birbirlerine aktarırlar. Her YAD'a sahip olduğu komşu sayısına göre bir öncelik etiketi verilir. Komşu sayısı en az olan YAD, en yüksek önceliğe ve çalışma yönüne ilk karar verme hakkına sahip olur. AFUP algoritmasında YAD'lar her iterasyonda fiziksel olarak yerlerini değiştirmedikleri ve sadece çalışma yönlerini değiştirdikleri için komşu sayıları algoritma çalışırken değişmez. Bu nedenle, öncelik verme işlemi bir kez AFUP_INIT aşamasında gerçekleşir.

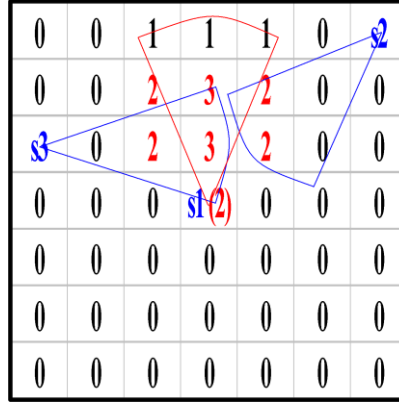
AŞAMA 2. AFUP_NODE aşaması, önerilen algoritmanın çekirdek kısmını oluşturur ve iteratif olarak gerçekleşir. Bu aşamanın başlangıcında her YAD "dengesiz" durumda bulunmaktadır. Her iterasyonda, YAD'lar olası yeni çalışma yönlerine karar verirler. Bu çalışma yönü, ilgili YAD "dengeli" durumuna ulaşana kadar geçici bir çalışma yönü olarak kabul edilir. Bazı YAD'lar, özellikle YAD yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde

birçok iterasyon sonunda bile kendilerine uygun çalışma yönü bulamayabilirler. Bu tür durumlarda, sonsuz döngü oluşmasını engellemek amacıyla bu kısır döngüye girmiş YAD'ların durumu belirli bir iterasyon sonunda "dengeli" olarak değiştirilir. "Dengeli" durumuna ulaşan YAD, AFUP_NODE aşamasını sonlandırır. AFUP_NODE aşaması iteratif olarak çalışır ve üç adımdan oluşur. Her YAD, "Örtüşen Alanların Tespit Edilmesi" adımı ile bu aşamaya başlar ve "Eşik Değeri Testi" ndeki koşul sağlanırsa algoritmayı YAD'a yeni çalışma yönünü bildirerek sonlandırır. Test adımında başarısız olan her YAD, daha uygun bir çalışma yönü belirleyebilmek için üçüncü adıma geçer. AFUP_NODE aşamasına ait adımlar izleyen maddelerde detaylı olarak açıklanmaktadır.

0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	SI	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Şekil 5.4 Kapsama haritası

Örtüşen Alanların Tespit Edilmesi. Bir YAD, ilk olarak kendisinin kapsadığı noktaları, R_s , α ve $\vec{W_d}$ bilgilerini kullanarak kapsama haritasına ($2R_s \times 2R_s$) işaretler (Şekil 5.4). Daha sonra WD_MSG ile komşularının güncel $\vec{W_d}$ bilgilerini toplar. Bir sonraki adımda, komşularının P, α, R_s ve $\vec{W_d}$ bilgilerini kullanarak görüş alanlarını hesaplar ve kendi algılama yarıçapı içerisinde kalan noktaları kapsama haritasında günceller. Son olarak, YAD, statüsünü belirlemek için kapsama haritasında örtüşen nokta sayısını bulur (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Komşu YAD'ların görüş alanlarının da bulunduğu kapsama haritası

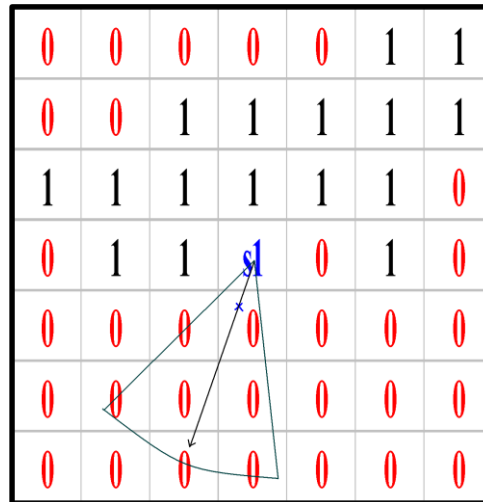
Eşik Değeri Testi. Eşik Değeri Testi bir YAD'ın statüsünü belirlemek için gerçekleştirilir. Kapsama haritasındaki her hücreye ait değer, o hücrenin kaç adet YAD tarafından kapsandığını gösterir. Değeri "1" den büyük olan hücreler (noktalar) örtüşen hücreler olarak kabul edilir. Bir YAD kapsama haritasındaki kendi görüş alanındaki örtüşen nokta sayısını (N_{OP}) önceden belirlenmiş bir eşik değeri (T_H) ile karşılaştırır. Eğer hesaplanan değer eşik değerinden düşükse, YAD, AFUP_NODE aşamasını sonlandırır ve kendini fiziksel olarak en son iterasyonda karar verilmiş çalışma yönüne döndürür. Eşik değerinden yüksek bir değer ortaya çıkarsa, YAD bir sonraki adıma geçer. Belirli sayıdaki iterasyon sonunda uygun bir çalışma yönü bulunamayan YAD'ın sonsuz döngüye girdiği kabul edilir ve durumu "dengeli" olarak değiştirilir. Eşik değeri bir YAD'a ait görüş alanının %k oranına denk düşen nokta sayısı olarak düşünülmüştür. Testlerin sonucunda $k=5$ olarak seçilmiştir. Eşitlik 5.4'te Eşik Değeri Testine ait formül gösterilmektedir.

$$S_{durum} \begin{cases} denge & N_{OP} < \frac{k \times \frac{\alpha}{2} R_s^2}{100} \\ dengesiz & N_{OP} \geq \frac{k \times \frac{\alpha}{2} R_s^2}{100} \end{cases} \quad (5.4)$$

Yeni Çalışma Yönünün Belirlenmesi. Eşik Değeri Testinde başarısız olan bir YAD, komşuları tarafından kapsanan noktaları kuvvet haritasına işaretler. Daha sonra kuvvet haritasında (Şekil 5.6) kapsanmayan noktaların merkezini hesaplar. Haritada

kapsanmayan noktalar “0” ile, kapsanan noktalar “1” ile gösterilmektedir. Kapsanmayan her noktanın YAD’ın çalışma yönü üzerinde pozitif bir çekim kuvveti uyguladığı varsayılır. Çekim kuvveti $F_{ij}(R_s \geq i \geq -R_s; -R_s \leq j \leq R_s)$ ile gösterilmektedir. Çekim merkezi algoritmasında kapsanmayan noktaların uyguladığı çekim kuvveti ($F_{ij} = 1$) bir birim olarak kabul edilmiştir. Eşitlik 5.5’teki formül kullanılarak çekim kuvvetlerinin merkezi (x_c, y_c) hesaplanır. YAD’ın (x_0, y_0) noktasında yer aldığı bilindiğine göre $\arctan(\frac{y_0 - y_c}{x_0 - x_c})$, YAD’ın yeni çalışma yönünü verir.

$$x_c = \frac{\sum_{j=-R_s}^{R_s} \sum_{i=R_s}^{-R_s} F_{ij} \times x}{\sum_{j=-R_s}^{R_s} \sum_{i=R_s}^{-R_s} F_{ij}} \quad y_c = \frac{\sum_{j=-R_s}^{R_s} \sum_{i=R_s}^{-R_s} F_{ij} \times y}{\sum_{j=-R_s}^{R_s} \sum_{i=R_s}^{-R_s} F_{ij}} \quad (5.5)$$



Şekil 5.6 Kuvvet haritası

Komşu YAD’ların Bilgilendirilmesi. Yeni çalışma yönünün belirlenmesinden sonra YAD, komşularını WD_MSG aracılığıyla yeni aday çalışma yönü hakkında bilgilendirir. YAD bir sonraki iterasyon için beklemeye geçer. WD_MSG sadece çalışma yönü bilgisini taşımaktadır. Yüksek enerji tüketimi gerektiren haritaların değişimine ihtiyaç yoktur.

Algoritma. AFUP algoritmasının yarı kod ile gösterimi

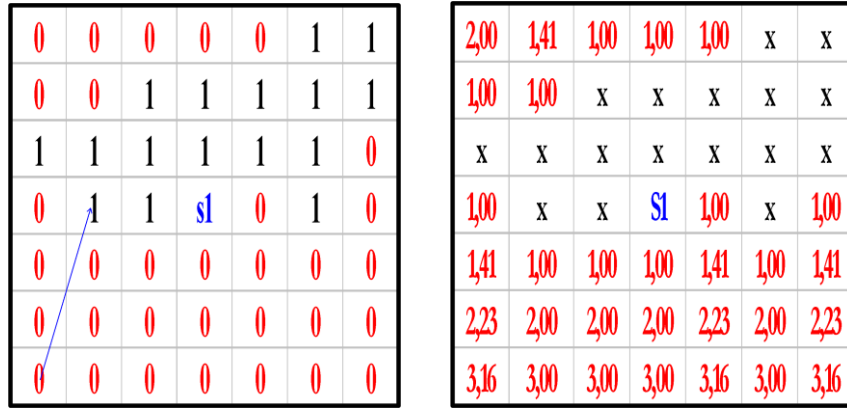
```
* Her YAD kendi yer bilgisine sahiptir. (  $P(x_0, y_0)$  ),  $\vec{W_d}$  ,  $R_s$  ve  $\alpha$ 
/* paralel işlem */
/* AFUP_INIT */
*Parametre atama ->  $S_{durum}$ ="dengesiz" ;
*Parametre atama -> Eşik Değeri (  $T_H$  ) ;
*DISCOVER_MSG değişimi (  $P, \vec{W_d}, R_s, \alpha$  )
*Komşu YAD listesinin oluşturulması ;
*Komşu YAD sayısının belirlenmesi ;
*NEIGHBORHOOD_MSG değişimi (Komşu YAD Sayısı) ;
*Öncelik Etiketinin belirlenmesi
/* AFUP_NODE */
* oscillation = 0 ;
* while (  $S_{durum}$  = "dengesiz" ) && ( oscillation < 10 ) do
    * sum(kapsanan noktalar) ;
    * WD_MSG değişimi (  $\vec{W_d}$  ) ;
    * Örtüşen noktaların (  $N_{OP}$  ) hesaplanması ;
    * if  $N_{OP} < T_H$  then
        *  $S_{durum}$  = "dengeli";
        * Çalışma yönünün (  $\vec{W_d}$  ) bu merkeze doğru döndürülmesi (fiziksel);
    * else
        * görüş alanı içerisindeki KAPSANMAYAN noktaların bulunması ;
        * KAPSANMAYAN noktaların merkezinin hesaplanması ;
        * Çalışma yönünün (  $\vec{W_d}$  ) bu merkeze doğru döndürülmesi (sanal);
    * endif
    * Komşu YAD'ların yeni  $\vec{W_d}$  hakkında bilgilendirilmesi ;
    * oscillation ++;
* end while
```

5.3.2 Ağırlıklı Çekim Merkezi Algoritması

W-AFUP algoritması AFUP algoritmasının geliştirilmiş versiyonudur. “W” harfi ağırlığı ifade etmektedir. W-AFUP, AFUP ile aynı temel aşamaları içermektedir. Temel aşamalara ek olarak, “Yeni Çalışma Yönünün Belirlenmesi” adımı ek iki alt aşama daha tanımlanmıştır. *Spiral Arama (SA)* ve *ağırlık hesaplanması*.

AFUP algoritmasında çalışma yönünü etkileyen kuvvetlerin eşit güce sahip olduğu varsayılmıştır. Öte yandan, W-AFUP algoritması için her kuvvetin farklı güce sahip olması düşünülmüştür. Böylece, etrafı daha boş olan noktaların çekim gücünün daha fazla olması sağlanmıştır. Bu sayede, W-AFUP ile elde edilen kapsama alanı iyileştirme kazancı AFUP’a göre %11’e kadar arttırılabilmektedir.

Her çekim kuvvetinin gücünü hesaplayabilmek için spiral şekilde çalışan SA isimli yeni bir algoritma tasarlanmıştır. SA, kapsanmayan bir noktaya, en yakın kapsanan noktanın verimli bir şekilde bulunmasını sağlar. Daha sonra bu iki nokta arasındaki mesafeyi ölçer. Bu mesafe, kapsanmayan noktanın oluşturduğu kuvvetin büyüklüğünü ifade eder. Hesaplama kullanılan ağırlık fonksiyonu, Eşitlik 5.6’da verilmiştir. u_p ve c_p kapsanan ve kapsanmayan noktaları ifade etmektedir.

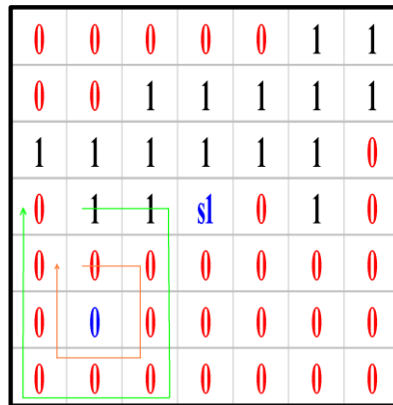


Şekil 5.7 Ağırlıklı kuvvet haritasının oluşturulması

Şekil 5.7’de bir s YAD’ına ait kuvvet haritası verilmiştir. “1” ler kapsanan, “0” lar ise kapsanmayan noktaları ifade etmektedir. Her kapsanmayan nokta için kendisine en yakın noktaya olan uzaklığı Eşitlik 5.6’ya göre hesaplanır ve kuvvet haritasına işlenir. Şekil 5.7’de soldaki kuvvet haritasının sol alt köşesinde bulunan kapsanmayan noktaya en yakın kapsanan nokta gösterilmektedir.

En yakın kapsanan noktayı bulma, işlem karmaşıklığı yüksek bir problemdir. İşlem karmaşıklığını azaltmak amacıyla tüm haritayı taramak yerine spiral bir tarama yöntemi kullanılmıştır (Şekil 5.8). SA algoritması kapsanmayan noktadan başlayarak çemberler oluşturup en yakın kapsanan noktayı arar. Kapsanan ilk nokta bulunduğunda veya haritanın her yönden dışına çıkıldığında algoritma sonlandırılır. Arama yarıçapı “1” olarak ilklendirilir ve her iterasyonda “1” arttırılır . Her iterasyonda, belirlenen yarıçap üzerinde kapsanan bir nokta olup olmadığı kontrol edilir. İlk eşleşme sağlandığında SA algoritması sonlandırılır ve kapsanmayan nokta ile eşleşen nokta arasındaki mesafe hesaplanır. Hesaplanan değer kuvvet haritasındaki ilgili göze yeni çekim kuvveti olarak atanır. Bu algoritma sayesinde gereksiz karşılaştırma işlemlerinden tasarruf edilmiş olur.

$$w_{up} = \sqrt{(x_{up} - x_{cp})^2 + (y_{up} - y_{cp})^2} \quad (5.6)$$



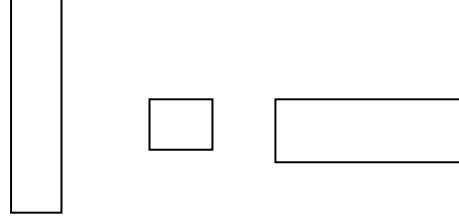
Şekil 5.8 Spiral Arama

5.3.3 Engelli Ortamda Dönme Yeteneği

Literatür taraması sonucunda, bir çalışma dışında [49][97], tüm çalışmaların dönme yeteneğini engellerin olmadığı ortamlar için inceledikleri tespit edilmiştir. Fakat, gerçek hayatta dağıtım yapılacak ortamda irili ufaklı engeller mevcuttur. Bu engelleri de hesaba katabilmek için, önerdiğimiz AFUP ve W-AFUP algoritmalarında bazı ufak değişiklikler yapılarak engelli ortamlardaki performanslarının ölçülmesi sağlanmıştır.

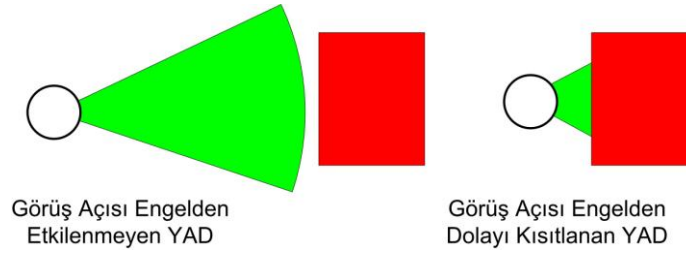
Öncelikle simülasyon ortamımızda bir ENGEL sınıfı tanımlanmıştır. ENGEL sınıfı için başlangıç/bitiş koordinatları ve en/boy özellikleri tanımlanmıştır. Ortamda birden fazla

engel tanımlanabilmektedir. Engeller dikdörtgen olarak tanımlanmakta ve farklı boyutlara sahip olabilmektedir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 Farklı boyutlardaki engeller

Bir YAD'ın bakış açısında yer alan engel, o YAD'ın görüş alanını aralarındaki mesafeye bağlı olarak küçültür, hatta bazı durumlarda tamamen ortadan kaldırabilir. Şekil 5.10'da bir engelin, bir YAD'ın görüş alanını nasıl etkilediği gösterilmektedir.



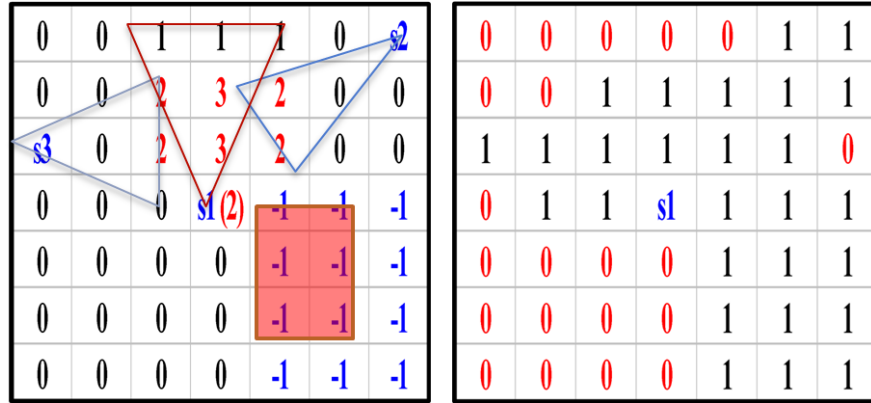
Şekil 5.10 Görüş alanı üzerinde engelin etkisi

Dönme yeteneği, bir YAD'ın bakış açısını engelden en az etkilenecek şekilde değiştirebilmesini sağlamaktadır. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi yönlü algılayıcı ağlarda örtüşme ve engelden ötürü meydana gelen kapsama alanı kayıplarının ortadan kaldırılması temel hedeftir. Önerdiğimiz algoritmaların (AFUP, W-AFUP) engelli ortamlarda çalışabilmeleri için bazı değişiklikler gerçekleştirilmiştir.

- Her YAD için bir *engel haritası* tanımlanmıştır. Bu harita üzerinde etrafta YAD'ın görüş alanını etkileme ihtimali olan engeller tanımlanmıştır.
- YAD'ın etrafında yer alan tüm noktaların engel(ler)den etkilenip etkilenmediğini belirleyen *isVisible* fonksiyonu tasarlanmıştır. Fonksiyonun sonucuna göre engellerden etkilenen noktaların çekim kuvveti uygulamadığı varsayılmıştır. Bu

yaklaşım, bir YAD'ın bakış açısının olabildiğince engel(ler)den uzak durmasını hedeflemektedir.

Şekil 5.11 incelendiğinde s_1 YAD'ının dönebileceği bölgenin haritanın sol alt bölümünde yer alan boş bölgenin olduğu görülmektedir. Engelin üzerinde bulunduğu bölge, sağında ve alt kısmındaki bölgeler s_1 YAD'ının herhangi bir çalışma yönünde göremeyeceği bölgelerdir. Bu nedenle, bu bölgelerden sıfırdan farklı olarak "-1" ile temsil edilir. Bir YAD'ın çalışma yönünü değiştirme kararı engelsiz ortamda sadece örtüşen noktaların sayısına bağlı iken, engelli ortamlarda örtüşen noktalara ek olarak görüş alanında yer alan fakat engellerden ötürü kapsanamayan noktalar da katılır. Eşik Değeri Testi sonucunda YAD'ın çalışma yönünün değiştirilip değiştirilmeyeceğine karar verilir. Çalışma yönü yeniden belirlenecek YAD'ın kuvvet haritasına engellerden dolayı görülme ihtimali olmayan noktalar, kapsama haritasına "-1" olarak, kuvvet haritasına ise başka bir YAD tarafından kapsanıyormuş gibi "1" olarak işlenir ve normalde boş olarak gözükse de engelin arkasında kalmasından dolayı herhangi bir çekim kuvveti uygulamasına izin verilmez.



Şekil 5.11 s_1 YAD'ına ait kapsama ve kuvvet haritaları

5.4 Hareket Yeteneği

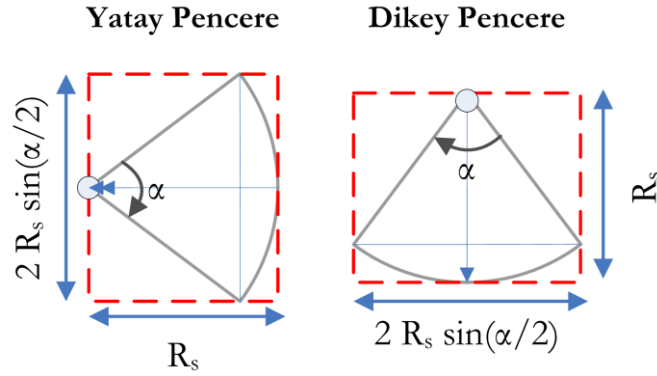
Hareket yeteneğinden faydalanmak, dairesel-yönlü algılayıcı ağlarda kapsama alanı iyileştirme için temel bir çözüm olsa da, yönlü algılayıcı ağlarda, dönme özelliği ile karşılaştırıldığında enerji açısından tasarruflu bir çözüm değildir. Kapsamlı literatür çalışması sonucunda sadece tek bir çalışmanın [19] yönlü algılayıcı ağlarda hareket

yeteneğinin kullanımını incelediği görülmüştür. Çalışma incelendiğinde yazarların dönme yeteneğini göz önünde bulundurmadıkları tespit edilmiştir. Öte yandan, diğer tüm çalışmalar, avantajlarından dolayı dönme özelliğini kullanmayı tercih etmişlerdir. Fakat, simülasyon sonuçlarımız, dönme yeteneğinin kapsama alanını belirli bir seviyeye kadar iyileştirebildiğini göstermiştir. Özellikle YAD yoğunluğunun yüksek olduğu ağlarda dönme yeteneği yetersiz kalmıştır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında dönme yeteneğine ek olarak hareket yeteneğinin kullanılması fikri ortaya atılmış ve dönme ve hareket yeteneğinin ardışıl kullanıldığı hibrit hareket stratejisi önerilmiştir. Hareket yeteneğinin avantajlarından faydalanmak için “Window-based Neighborhood Exploring (WNE)” algoritması tasarlanmıştır. Ayrıca hareket etmenin yüksek enerji tüketmesi nedeniyle enerjinin YAD'lara dengeli dağılmasını sağlayan Energy-aware WNE çözümü ortaya atılmıştır. Her iki algoritma da yerel bilgilerden faydalanarak dağıtık yapıda çalışmaktadır. Bu nedenle, her iki algoritma için mesaj karmaşıklığı $O(N)$ olarak ifade edilir. Her iki algoritma için işlem karmaşıklığı ise, evrişim (convolution) işlemi yapıldığı için $O(R_s^4)$ 'tür. WNE ve Energy-aware WNE algoritmalarının detayları bir sonraki alt başlıklarda verilmiştir.

5.4.1 Pencere-tabanlı Komşu Bölge Tarama

WNE algoritması temel olarak bir YAD etrafında yer alan kapsanmayan bölgelerin bulunmasını hedefler. Bu tarama pencereler kullanılarak gerçekleştirilir. Eğer bir YAD'ın görüş alanı başka YAD'ların görüş alanı ile tanımlı eşik değerinden daha fazla örtüşüyorsa, ilklendirme aşamasında bir yatay ve bir dikey olmak üzere iki adet pencere üretilir. Her iterasyonda, üretilen pencereler komşuluk haritası üzerinde yatay ve dikey olarak taratılarak YAD'ın yerleşebileceği kapsanmayan en büyük bölge tespit edilir. Pencerelerin boy ve genişliği R_s ve $2R_s \cos(\alpha/2)$ olarak belirlenmiştir. Pencerelerdeki her hücre “0” veya “1” ile temsil edilir. “0”lar kapsanan noktaları, “1”ler ise kapsanmayan noktaları temsil etmektedir. Yatay pencerenin sol kenarının ortasında sanal bir YAD bulunduğu ve çalışma yönünün 0° olduğu kabul edilir. Benzer şekilde dikey pencerenin üst kenarının ortasında sanal bir YAD bulunduğu ve çalışma yönünün 270° olduğu varsayılmaktadır. Sanal YAD'ların çalışma yönleri aynı zamanda

pencerelerin de yönlerini temsil etmektedir. Yatay ve dikey pencereler Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 Yatay ve dikey pencereler

Öte yandan, WNE algoritmasının performansını arttırabilmek amacıyla diyagonal başta olmak üzere farklı pencere tiplerinin kullanılması mümkündür. Fakat, kullanılacak her pencere, sistem karmaşıklığını arttırarak WNE algoritmasının daha uzun sürmesine yol açacaktır.

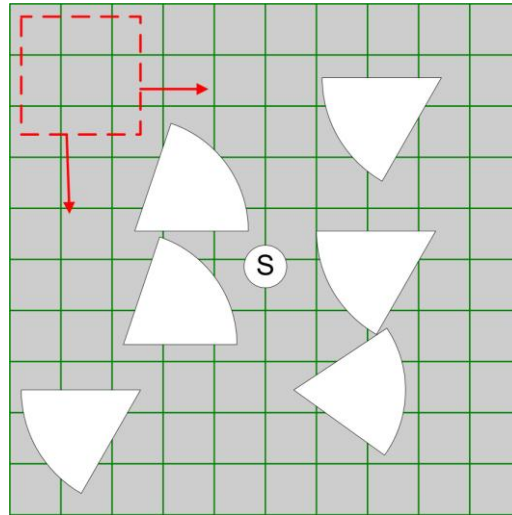
WNE algoritması, AFUP ve W-AFUP’ta olduğu gibi grid-tabanlı yaklaşımı kullanmaktadır. Gridteki her hücrenin izlenen bölgedeki bir noktayı temsil ettiği kabul edilmektedir. WNE iteratif tabanlı bir algoritmadır. Fakat, iterasyon sayısının en fazla dört olduğu gözlenmiştir. İterasyon sayısının düşük olmasının sebebi hareket yeteneğinin sadece gerekli bazı YAD’lar için kullanılmasından kaynaklanmaktadır. WNE algoritması beş temel adımdan oluşmaktadır.

Örtüşen Alanların Tespit Edilmesi. Bir YAD öncelikle kapsama haritasına $R_s, \vec{W_d}$ ve α bilgilerini kullanarak kapsadığı alanları işaretler. Daha sonra DISCOVER_MSG aracılığıyla edindiği komşu YAD’ların pozisyon ve çalışma yönü bilgilerini kullanarak diğer YAD’lar tarafından kapsanan noktaları işaretler. Bir sonraki adımda, her YAD kapsama haritasındaki kendi görüş alanı ile örtüşen noktaları sayar.

Eşik Değeri Testi. Eşik Değeri Testi’nin sonucuna göre bir YAD, komşu bölgesinde kendisine daha uygun bir yer arayıp aramayacağına karar verir. Uygulanan test, AFUP ve W-AFUP algoritmalarındaki test ile bire bir aynıdır. YAD, haritasındaki toplam örtüşen nokta sayısını, önceden belirlenmiş bir eşik değeri (T_H) ile karşılaştırır. Örtüşen

nokta sayısı bu değerin altında ise, YAD Eşik Değeri Testini geçemediği için tarama işleminin yapıldığı bir sonraki adıma geçer. Eşik Değeri Testinde başarılı olan YAD'lar, WNE algoritmasını sonlandırır ve pozisyonunu korur.

Komşu Bölgenin Taranması. Eşik Değeri Testinde başarısız olan YAD, komşuluk haritasında ilklendirme sırasında ürettiği pencereleri kullanarak tarama işlemini gerçekleştirir (Şekil 5.13). Bu işlemin amacı en büyük boş bölgenin bulunmasıdır. Tarama işlemi sırasında bit-AND operasyonu gerçekleştirilmektedir. İlgili pencere, komşuluk haritasının sol üst köşesinden başlanarak kaydırılır. Her adımda, sağ kenara ulaşana kadar pencere bir sağa hareket ettirilir. Daha sonra, sol kenara sıfırlama sırasında pencere bir alt satıra kaydırılır. Her adımda, boş noktalar sayılır ve algoritma tüm noktaları boş olan bir bölge tespit ederse sonlanır ve YAD'ın bu noktaya hareket etmesine karar verilir. Özellikle yoğun ağlarda, tamamen boş bir alan bulmak pek mümkün olmadığı için en büyük boş alana sahip yerin koordinatları tarama işlemi sırasında kaydedilir. Tarama işlemi sonucunda kaydedilen alan mevcut alandan daha boş bir görüş alanı sunuyorsa YAD bu yeni bölgeye hareket etmeye karar verir. Diğer durumda, konumunu ve çalışma yönünü muhafaza eder.



Şekil 5.13 Komşu haritasında tarama işlemi

Yeni Çalışma Yönünün Düzenlenmesi. YAD, gittiği yerde yeni çalışma yönünü ilgili pencerenin çalışma yönü olarak düzenler.

Komşu YAD'ların Bilgilendirilmesi. İki alt adımdan oluşur. İlk adımda, YAD ayrıldığı bölgedeki komşularını ayrılmadan önce bilgilendirir. Bilgilendirme sonucunda

komşuları YAD'ı kendi listelerinden çıkarırlar. İkinci adımda, YAD yeni yerine ulaştığında, DISCOVER_MSG aracılığıyla çevresindeki komşu YAD'ların varlığını öğrenirken kendi varlığını da diğer YAD'lar ile paylaşmış olur.

5.4.2 Enerji-Tasarruflu Pencere-tabanlı Komşu Bölge Tarama

Hareket yeteneğinden faydalanmak için geliştirilen WNE algoritmasının temel amacı kapsama alanının arttırılmasıdır. Bu nedenle bir YAD'ın etrafında yer alan kapsama boşluklarından en büyüğünün bulunması hedeflenir. Fakat YAD'ın hareket maliyetinin oldukça yüksek olduğu düşünüldüğünde [21], enerji tüketimi ve kapsama alanı artırımını birarada değerlendirecek yeni bir algoritma (EA-WNE) tasarlanmıştır. Algoritmanın temel adımları WNE algoritması ile aynıdır. Komşu bölgenin taranması adımında temel iki değişiklik yapılmıştır. Birincisi, tamamen boş bir alan bulunsa da algoritma sonlandırılmaz. İkincisi ise her adımda hem kapsama alanı hem de bu bölgeye ulaşmak için kat edilmesi gereken mesafe belirlenir. Eşitlik 5.7'de mesafe hesabı için kullanılan Öklid uzaklık formülü verilmiştir. Tüm olası aday noktalar hesaplandıktan sonra en büyük alandan en küçük alana olmak üzere aday noktalar sıralanır. Daha sonra en büyük boşluğa sahip nokta referans alınır (Eşitlik 5.8) ve boşluktaki nokta sayısına belirlenen bir eşik değeri kadar yakın olan tüm aday noktalar arasından mesafesi en az olan aday nokta seçilir (Eşitlik 5.9 ve Eşitlik 5.10). Aday bölgelerdeki boş nokta sayısının YAD'ın bulunduğu mevcut bölgedeki boş nokta sayısından fazla olması gereklidir. Son adımda , s YAD'ın verimliliği en yüksek olan bölgeye hareket ettirilmesine karar verilir.

$$d(x, y) = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (5.7)$$

$$N_{EP(max)} = \sum_{x=-kRs}^{kRs} \sum_{y=kRs}^{-kRs} \max(N_{EP}(x, y)) \quad (5.8)$$

$$\sum_{i=1} d_i(x, y) = \sum_{x=-kRs}^{kRs} \sum_{y=kRs}^{-kRs} (N_{EP(max)} - N_{EP}(x, y)) \leq T_H \quad (5.9)$$

$$s_{new}(x, y) = \min(\sum_{i=1} d_i(x, y)) \quad (5.10)$$

EA-WNE sonucunda WNE ile aynı kapsama alanı oranı elde edilirken harcanan enerjinin YAD'lara daha homojen dağıldığı gözlenmiştir.

PERFORMANS DEĞERLENDİRME

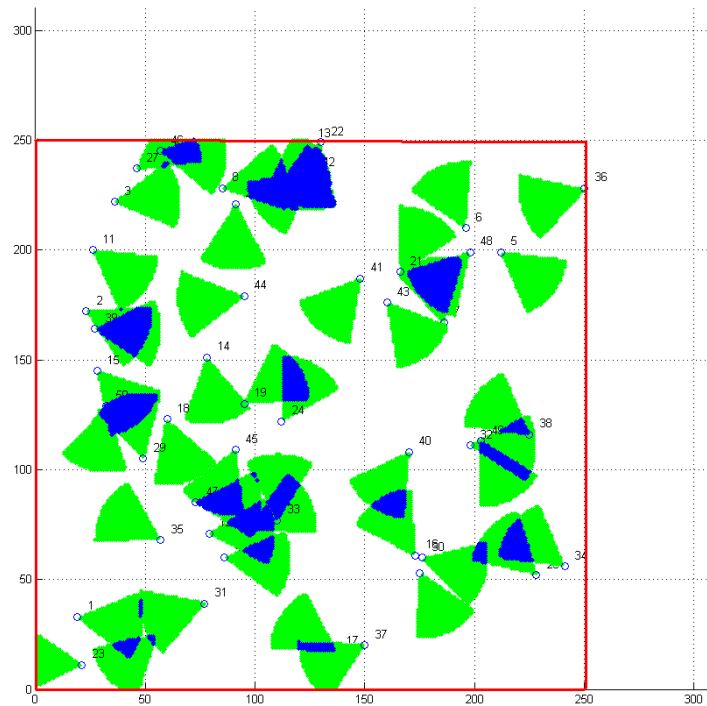
YAD'ların kendi kendine organize olabilme yeteneklerini (dönme/hareket) 2B ortamlarda değerlendirebilmek için MATLAB 7.8'de bir simülasyon ortamı hazırlanmıştır. Simülasyon ortamına ait tüm detaylar (sınıf, özellikler, davranış, kullanıcı parametreleri vb.) EK-A'da verilmiştir. Bu bölümde, detayları Bölüm 5'te anlatılan hibrit hareket stratejisine göre oluşturulmuş MAM yönteminin, sadece dönme özelliğini kullanan AFUP ve W-AFUP algoritmaları ile sadece hareket yeteneğini kullanan WNE ve Energy-aware WNE algoritmalarının performansları karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Elde edilen sonuçlar sunularak yorumlanmaktadır.

6.1 Simülasyon Parametreleri

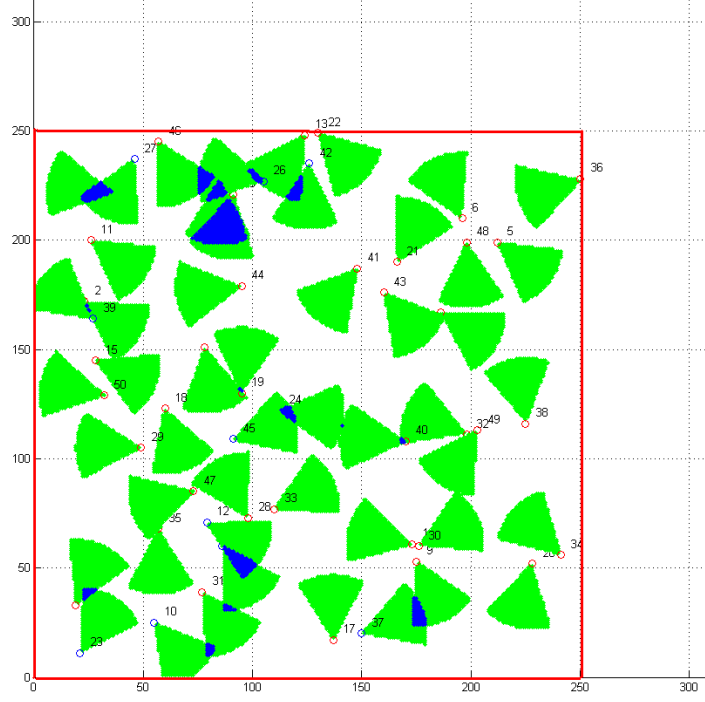
Simülasyon senaryolarımızda, YAD'ların dikdörtgen şeklindeki bir bölgeye tekdüze dağılım fonksiyonu (*uniform distribution function*) kullanılarak atıldığı varsayılmaktadır. YAD'ların parametreleri (iletişim yarıçapı, algılama yarıçapı, görüş açısı vb.) daha önceki çalışmalar [15][16][49] gözönünde bulundurularak belirlenmiştir. Dağıtılan tüm YAD'ların özelliklerinin aynı olduğu kabul edilmiştir. Aksi belirtilmedikçe, YAD'ların algılama yarıçapı $R_s = 30m$ ve görüş açısı $AoV = 60^\circ$ seçilmiştir. YAD'ların çalışma yönleri de pozisyon bilgileri gibi rasgele belirlenmektedir. İki YAD arasındaki iletişim mesafesinin, algılama yarıçapının iki katı olduğu varsayılmıştır ($R_c = 2R_s$). YAD'ların gözetlediği alanın boyutu $250m \times 250m$ olarak belirlenmiştir. Önerilen çözümlerin, seyrek ve yoğun ağlardaki performansını görebilmek için alana farklı sayılarda YAD'lar atılarak sonuçlar elde edilmiştir. Her senaryo için 50 farklı ilk dağılım senaryosu

kullanılmıştır. Sonraki alt bölümlerde yer alan tablolar ve grafiklerde, elde edilen değerlerin ortalaması verilmiştir.

Simülasyon ortamında, anlık görüntüler alınarak YAA'daki düğümlerin görüş alanları ve örtüşen alanlar görselleştirilebilmektedir. Görsellerdeki, yeşil alanlar, bir YAD'a ait görüş alanını ve aynı zamanda kapsanan bölgeleri göstermektedir. Öte yandan, koyu mavi alanlar ise örtüşen bölgeleri ve aynı zamanda kapsanan bölgeleri göstermektedir. Beyaz alanlar ise kapsanmayan bölgeleri ifade etmektedir. Şekil 6.1'de bir YAA'da rasgele dağıtım sonrası YAD'ların pozisyonları, görüş alanları ve örtüşen alanlar yer almaktadır. Yoğun bölgelerdeki YAD'ların görüş alanlarının daha fazla çakıştığı görülmektedir. Aynı zamanda sınır bölgelerdeki YAD'ların görüş alanlarının verimli kullanılmadığı farkedilmektedir. Dönme yeteneği kullanıldıktan sonra ortaya çıkan yeni çalışma yönleri ve görüş alanları Şekil 6.2'de gösterilmektedir. Örtüşen bölgelerin oldukça azaldığı sadece yoğun bölgelerdeki YAD'ların belirli bir örtüşmeye sahip olduğu gözlenmektedir. YAD'ların kendi etraflarında dönmeleri sonucu toplam kapsama alanının arttığı (beyaz alanların azaldığı) açıkça görülmektedir.



Şekil 6.1 Bir YAA'da ilk dağıtım sonrası YAD'ların durumu



Şekil 6.2 Dönme yeteneğinin YAD'ların görüş alanlarına etkisi

6.2 Dönme Yeteneğinin Performans Değerlendirmesi

Bu bölümde, dönme yeteneğinden faydalanarak tasarladığımız AFUP ve W-AFUP algoritmalarının performansları değerlendirilmektedir. Her iki algoritmanın rasgele dağıtım sonrası ne kadar iyileştirme sağladığı ve optimum yerleştirmeye ne kadar yakın bir sonuç ürettiği ortaya konmaktadır. Ayrıca, algılama yarıçapı ve görüş açısı değişiminin kapsama alanı iyileştirme miktarını ne oranda etkilediği incelenmiştir.

AFUP ve W-AFUP algoritmaları dağınık olarak çalıştığı için sadece yerel komşu bilgilerinden faydalanır. Bu nedenle, algoritmaların mesaj karmaşıklığı $O(N)$ olarak ifade edilir. Öte yandan, işlem karmaşıklığı taranan haritanın boyutuna dolayısıyla YAD'ın algılama yarıçapına bağlıdır. Bu nedenle, her iki algoritma için de işlem karmaşıklığı $O(R_s^2)$ olarak ifade edilir.

6.2.1 Optimum Yerleştirme

Bu tez çalışmasında, YAD'ların gözetlenecek bölgeye planlı ve hiç örtüşme meydana gelmeyecek şekilde elle konumlandırılması, optimum yerleştirme olarak kabul edilmiştir. Bu yerleştirmede, bir YAD'ın kapsadığı alanın $\frac{\alpha}{2} R_s^2$ olduğu bilindiğine göre

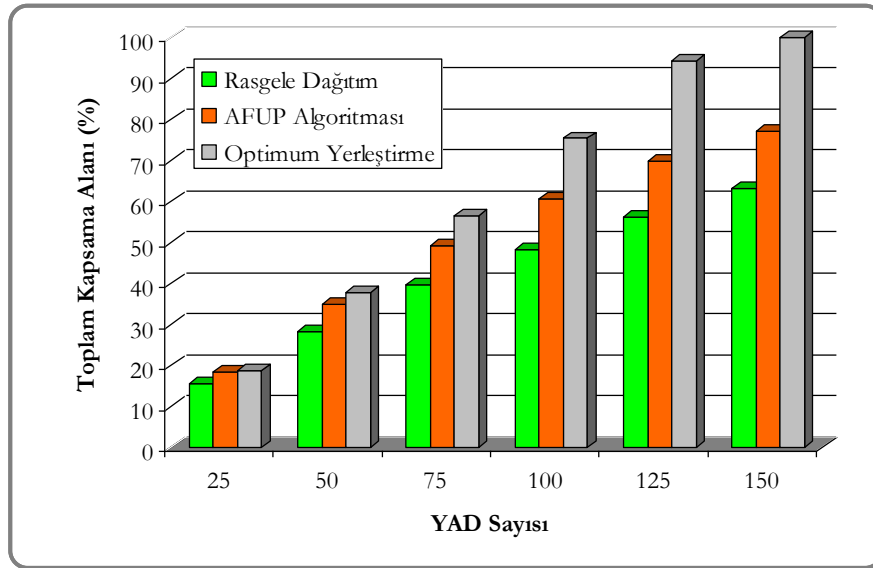
N adet YAD'ın kapsadığı toplam alan $N \frac{\alpha}{2} R_s^2$ 'dir. N adet YAD'ın dağıtıldığı senaryoda mümkün olan en iyi kapsama oranını bulmak için Eşitlik 6.1 kullanılır.

$$\text{En İyi Kapsama Oranı} = \frac{N \alpha R_s^2}{2A} \times 100 \quad (6.1)$$

A , gözetlenen bölgenin alanını, N , YAD sayısını, R_s , algılama yarıçapını α ise görüş açısını ifade etmektedir. Örneğin, $30m$ algılama yarıçapına ve 60° görüş açısına sahip 50 adet YAD'ın, $250m \times 250m$ 'lik bir alana optimum yerleştirildiği düşünüldüğünde %37.68'lik bir kapsama alanı elde edilebilmektedir. Sonraki bölümlerde, önerdiğimiz algoritmik çözümlerin optimum çözüme ne oranda yaklaştığı incelenmektedir.

6.2.2 AFUP

Detayları Bölüm 5'te anlatılan AFUP algoritmasının toplam kapsama alanına olan etkisi farklı yoğunluktaki ağlar için Şekil 6.3'te incelenmiştir. Rasgele dağıtım ve elle planlı bir yerleştirmenin sonuçları ile karşılaştırılan AFUP'un toplam kapsama alanını oldukça iyileştirdiği görülmektedir. Seyrek dağıtımlarda, AFUP sonrası oluşan toplam kapsama alanının optimum alana yaklaştığı görülmektedir. Yoğun dağıtımlarda ise bu farkın açıldığı, AFUP'un rasgele dağıtıma göre çok iyi sonuç üretse de optimum yerleştirme sonuçlarına yaklaşamadığı görülmektedir.

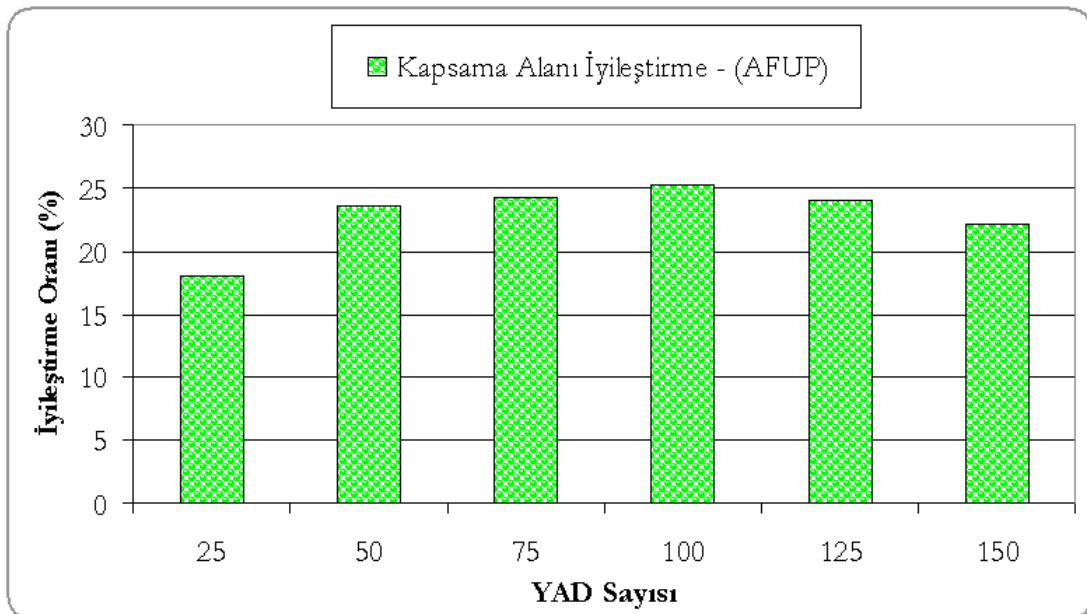


Şekil 6.3 Rasgele dağıtım, AFUP algoritması ve optimum yerleştirmenin karşılaştırmalı incelenmesi

Çizelge 6.1’de AFUP algoritmasının toplama kapsama alanını ne kadar ve ne oranda arttırdığı bilgileri verilmektedir. Algoritmanın performansı seyrekten çok yoğun ağlara kadar farklı ölçekteki yönlü algılayıcı ağlar için incelenmiştir. AFUP algoritmasının %18-%25 arasında iyileştirme sağladığı gözlenmiştir. İyileştirme oranı belirli bir yoğunluğa kadar artarken, bu yoğunluğun üzerinde kademeli olarak azalmaya başlamaktadır (Şekil 6.4). Bunun en önemli sebebi, YAD’ların yoğun ağlarda kendilerine uygun çalışma yönü bulmakta zorlanmalarıdır.

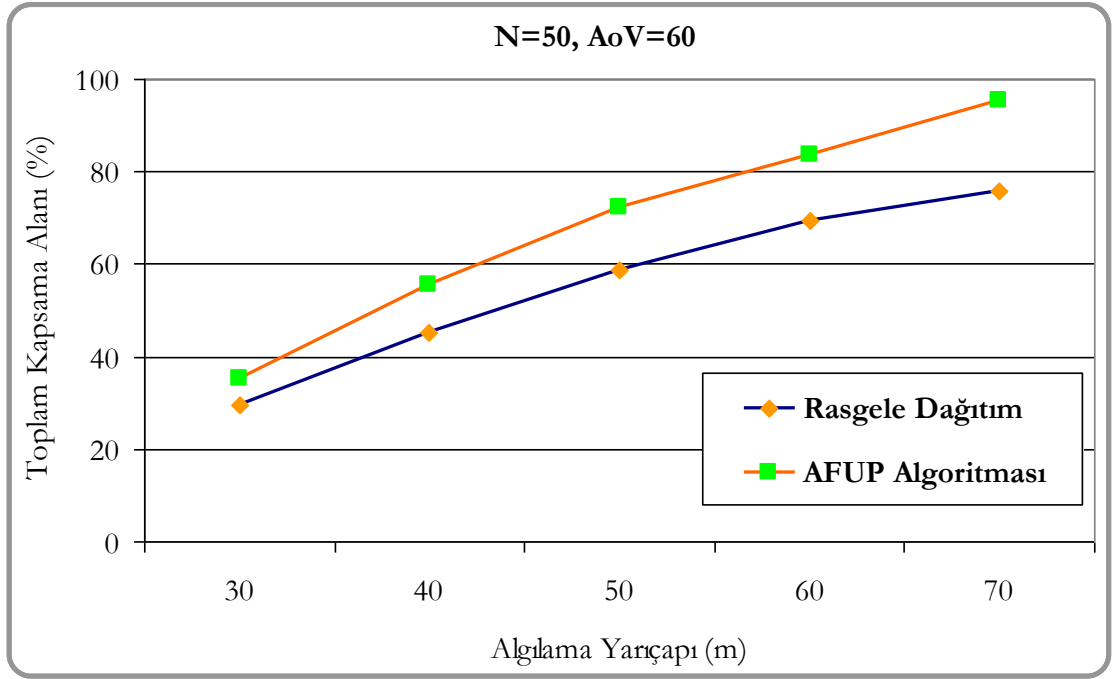
Çizelge 6.1 AFUP algoritmasının toplam kapsama alanına etkisi

$R_s=30m$ $\alpha = 60^\circ$	Kapsama Alanı (İlk Dağıtım) (%)	Kapsama Alanı (AFUP Sonrası) (%)	İyileştirme Oranı (%)
N = 25	15.65	18.48	18.08
N = 50	28.28	34.96	23.59
N = 75	39.69	49.28	24.16
N = 100	48.38	60.56	25.18
N = 125	56.28	69.80	24.02
N = 150	63.26	77.23	22.08



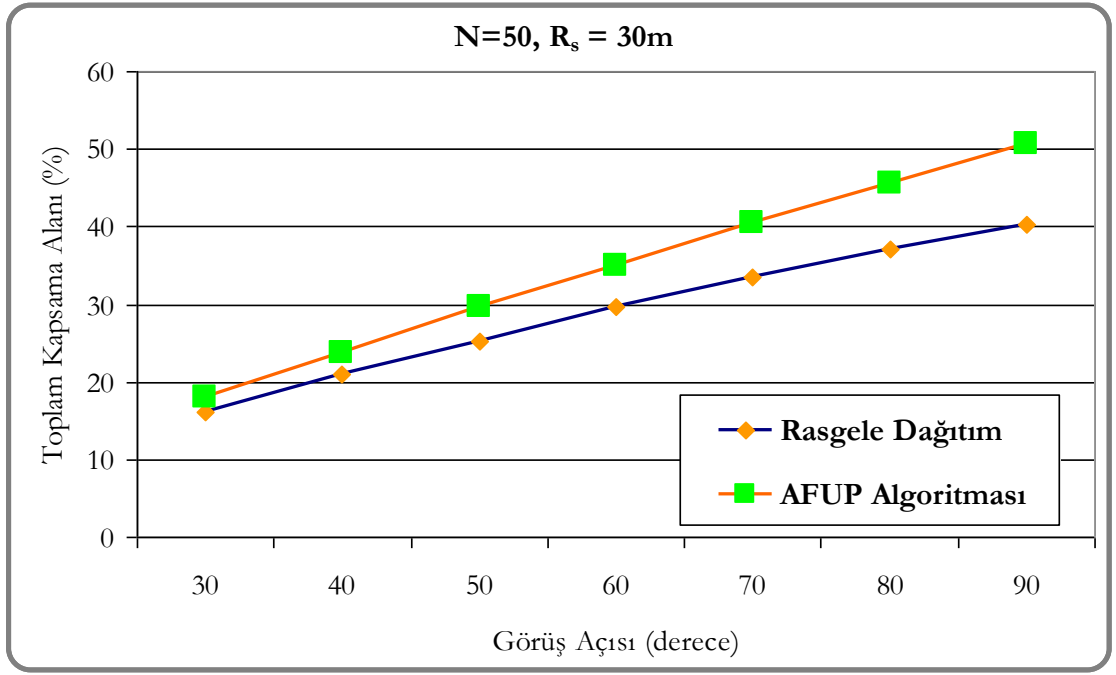
Şekil 6.4 AFUP algoritmasının farklı YAD sayıları için kapsama alanı iyileştirme oranları

Algılama yarıçapı ve görüş açısı, görüş alanının boyutunu doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, algılama yarıçapı ve görüş açısı değişiminin AFUP algoritmasının sonucunu nasıl etkilediği incelenmiştir. Şekil 6.5'te artan algılama yarıçapının rasgele dağıtım ve AFUP'un performansına olan etkisi gösterilmektedir. Algılama yarıçapı arttıkça AFUP'un performansının az da olsa yükseldiği gözlenmiştir. Algılama yarıçapının, görüş alanına etkisinin karesel olması kapsama alanı artımının doyum noktasını düşürmektedir.



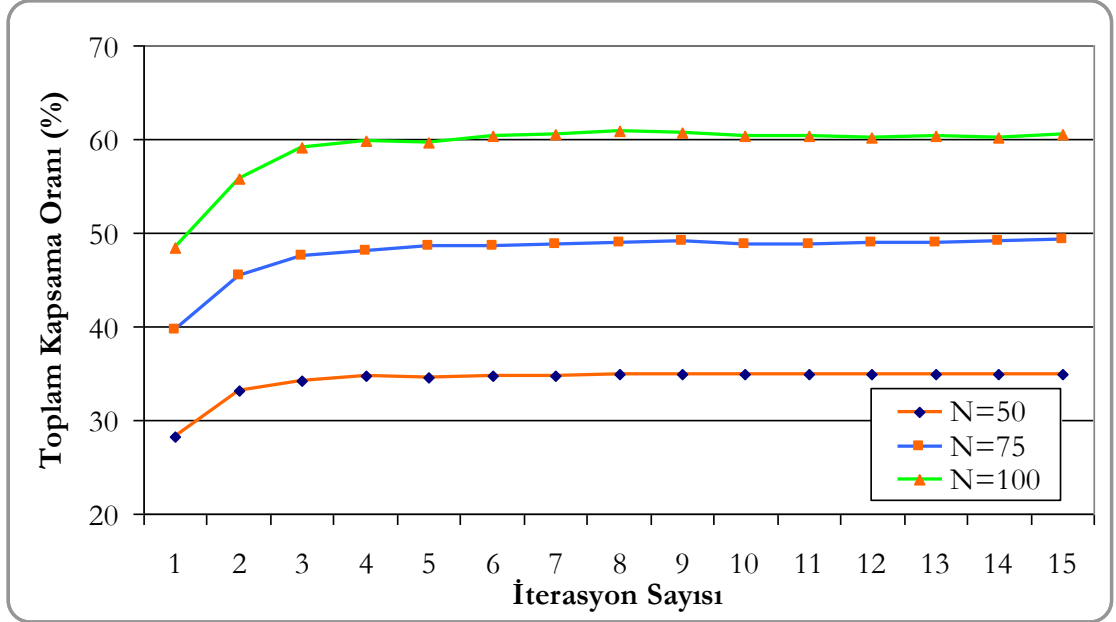
Şekil 6.5 Algılama yarıçapının rasgele dağıtıma ve AFUP'a etkisi

Görüş açısının değişimi incelendiğinde ise değişimin neredeyse doğrusal olduğu gözlenmiştir. Görüş açısı ve görüş alanı arasındaki doğrusal ilişki düşünüldüğünde sonuç beklendiği gibidir. Rasgele dağıtım belli bir açıda artım hızını kaybederken, AFUP performansını korumaktadır (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 Görüş açısının rasgele dağıtım ve AFUP'a etkisi

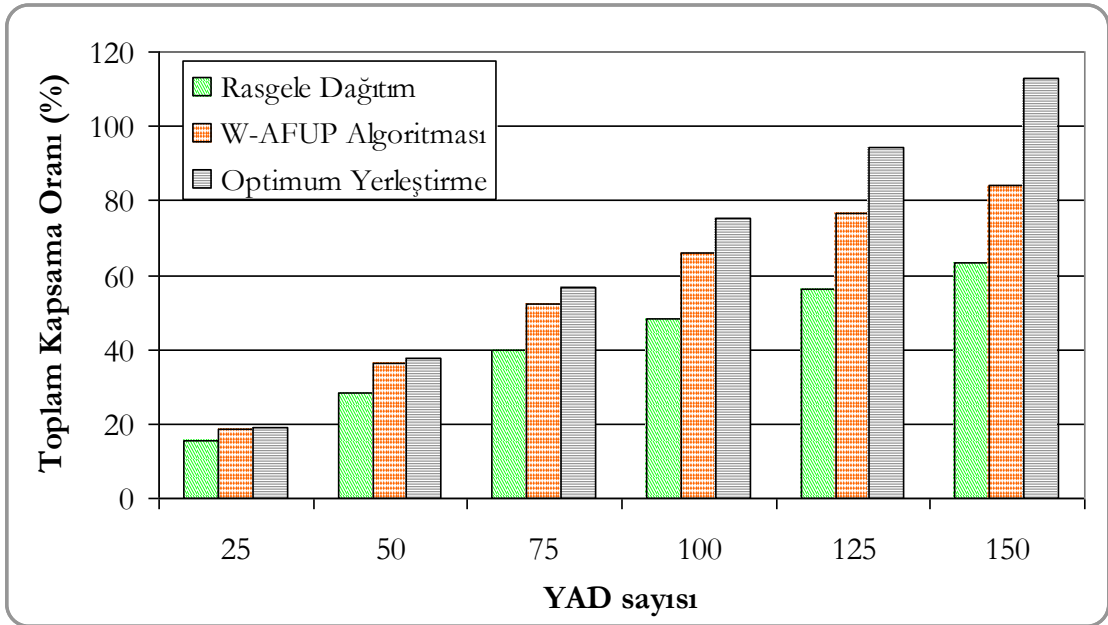
AFUP algoritmasının en önemli artılarından biri de hızlı bir şekilde yakınsamasıdır. 5-6 adımda yakınsayan bu algoritmaya ait yakınsama eğrileri Şekil 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.7 Farklı YAD sayıları için AFUP algoritmasının yakınsama eğrisi

6.2.3 W-AFUP

W-AFUP algoritması, AFUP algoritmasının geliştirilmiş versiyonudur. Bölüm 5.3'te detayları verilen W-AFUP algoritmasının AFUP algoritmasından temel farkı bir YAD'ın çalışma yönünü etkileyen kuvvetlerin ağırlıklandırılmasıdır. Bu sayede, boş alanların etkisi daha da arttırılmıştır. Algoritmanın genel performansını değerlendirmek için rasgele dağıtım ve planlı yerleştirme sonuçları kullanılmıştır. Şekil 6.8'de W-AFUP'un rasgele dağıtım sonrasındaki toplam kapsama oranını oldukça iyileştirildiği görülmektedir. Özellikle seyrek ve orta yoğun algılayıcı ağlarda optimum dağıtıma yakın sonuçlar elde edilmiştir.



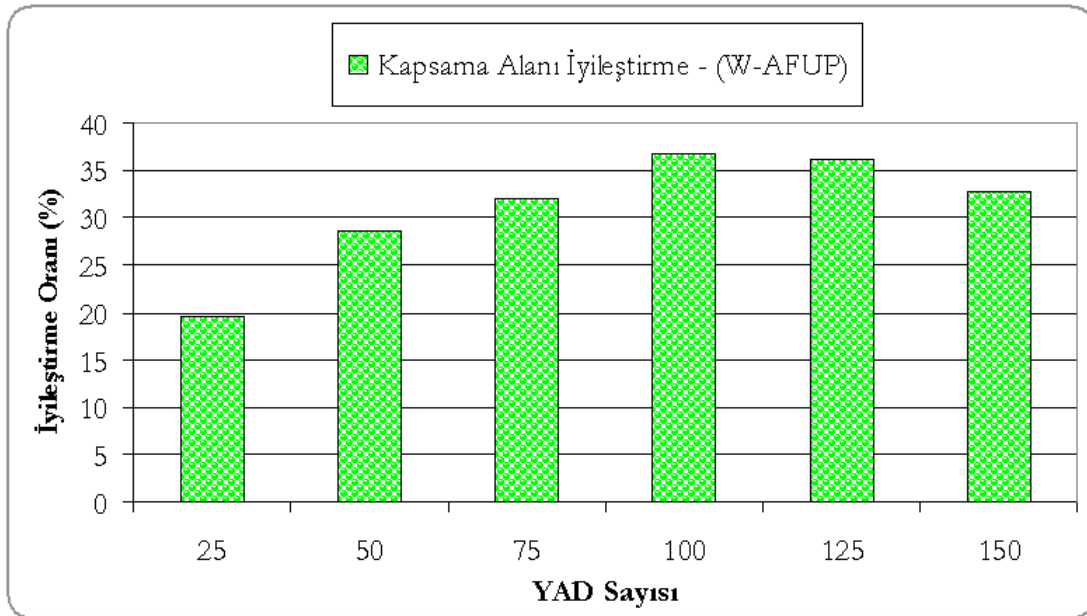
Şekil 6.8 Rasgele dağıtım, W-AFUP algoritması ve optimum yerleştirmenin karşılaştırmalı incelenmesi

Çizelge 6.2 incelendiğinde W-AFUP algoritmasının ilk dağıtım sonrası oluşan toplama kapsama alanını %19-%37 oranında iyileştirdiği görülmektedir.

Çizelge 6.2 W-AFUP algoritmasının toplam kapsama alanına etkisi

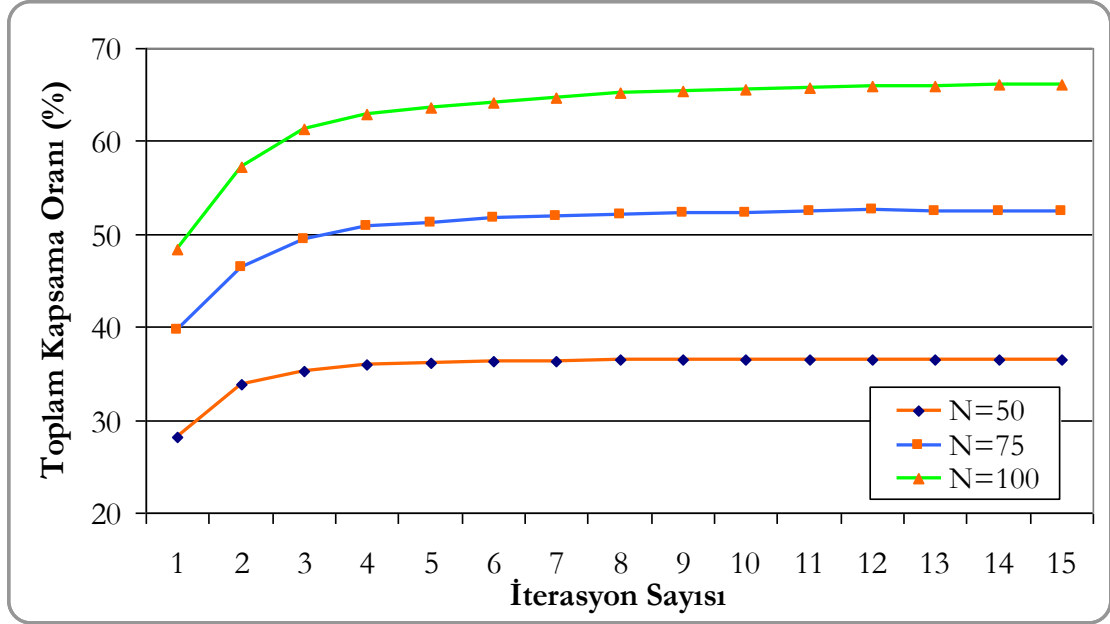
$R_s=30m$ $\alpha = 60^\circ$	Kapsama Alanı (İlk Dağıtım) (%)	Kapsama Alanı (W-AFUP Sonrası) (%)	İyileştirme Oranı (%)
N = 25	15.65	18.71	19.55
N = 50	28.28	36.40	28.71
N = 75	39.69	52.42	32.07
N = 100	48.38	66.12	36.67
N = 125	56.28	76.65	36.19
N = 150	63.26	83.99	32.77

Şekil 6.9’da W-AFUP algoritmasının farklı yoğunluktaki yönlü algılayıcı ağlarda sağladığı iyileştirme oranları verilmiştir. Belirli bir eşik seviyesine kadar ($N = 100$), W-AFUP performansının arttığı gözlenmiştir. Eşik değeri sonrasında ise iyileştirme oranının azalmaya başladığı görülmektedir. Azalmanın temel sebebi yoğunluğun artmasından dolayı boş alanların azalmasıdır.



Şekil 6.9 W-AFUP algoritmasının farklı YAD sayıları için kapsama alanı iyileştirme oranları

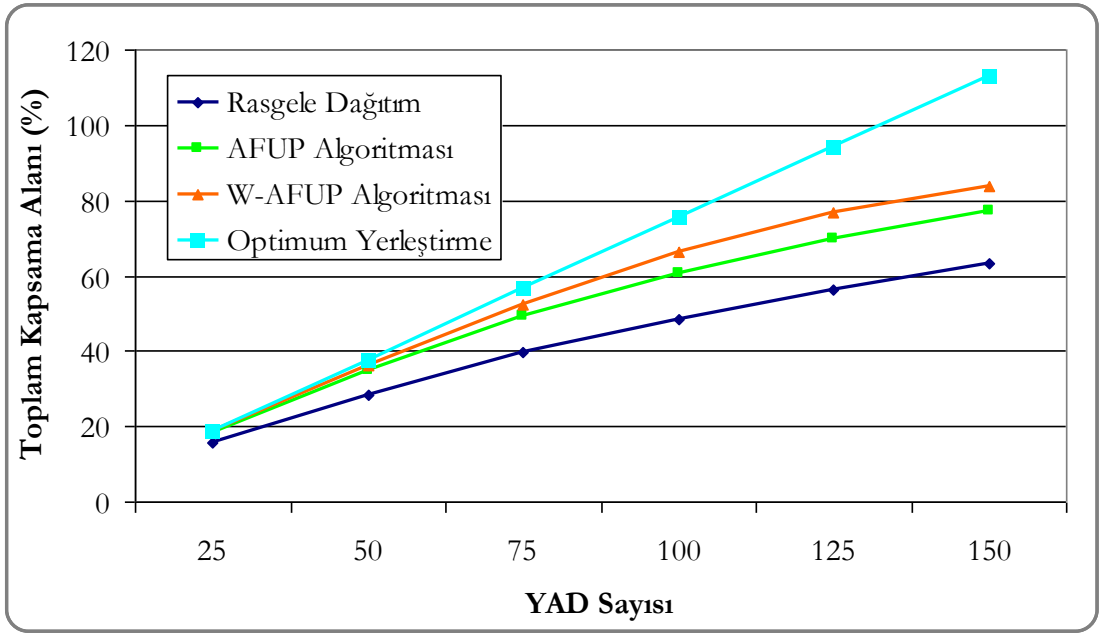
W-AFUP algoritmasının yakınsama eğrisi farklı yoğunluktaki YAA'lar için Şekil 6.10'da verilmiştir. Ortalama 5-6 adımda yakınsayan W-AFUP algoritması daha yoğun ağlarda daha fazla adım sonunda tam olarak yakınsamaktadır.



Şekil 6.10 W-AFUP algoritmasının farklı YAD sayıları için yakınsama eğrileri

6.2.4 Engelsiz Ortamda AFUP ile W-AFUP'un Karşılaştırılması

Dönme yeteneğinden faydalanarak geliştirilen her iki algoritma da literatürde yer alan çözümlerden [13][15][16] daha iyi sonuç üretmektedir. W-AFUP, boş alanların etkisini daha etkin bir biçimde kullandığı için AFUP'a göre %11'e varan daha fazla iyileştirme sağlamaktadır. Seyrek YAA'larda birbirine yakın sonuçlar üreten AFUP ile W-AFUP arasındaki performans farkı daha yoğun YAA'larda ortaya çıkmaktadır. Şekil 6.11 incelendiğinde W-AFUP'un optimum sonuca oldukça yaklaştığı görülmektedir. Öte yandan, bu grafik dönebilmeye yeteneğinin özellikle yoğun YAA'larda yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu noktadan yola çıkarak YAA'larda hareket yeteneğinin kapsama alanına etkisi incelenmiştir.



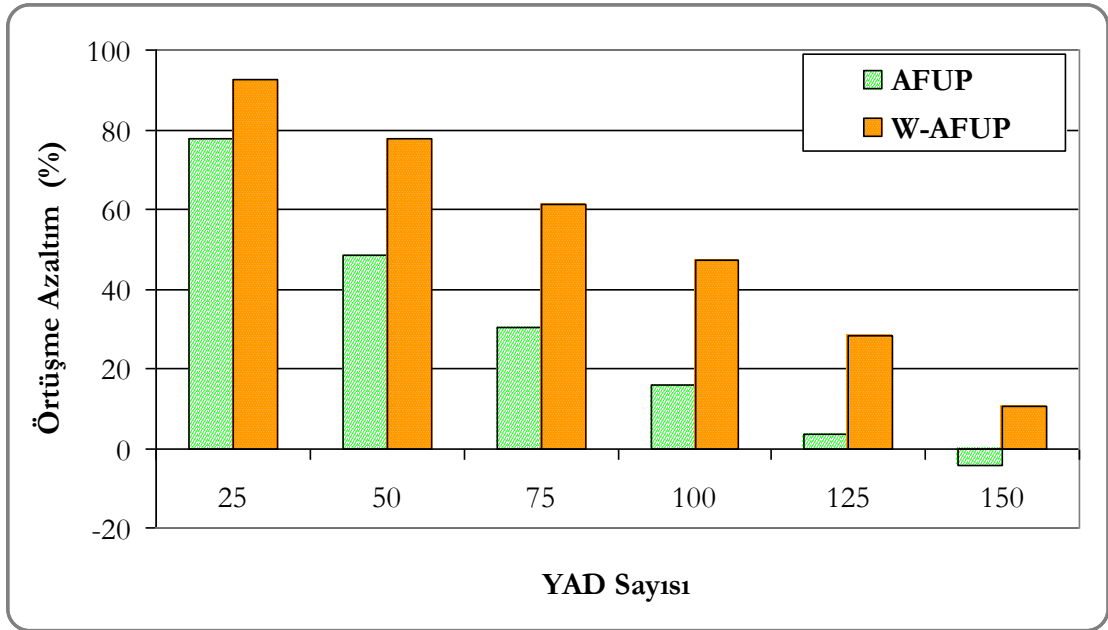
Şekil 6.11 AFUP ve W-AFUP algoritmasının engelsiz ortamda karşılaştırmalı olarak performans analizi

Çizelge 6.3 Rasgele dağıtım, AFUP ve W-AFUP algoritmalarının 50 tekrar için sınır değerleri

$R_s=30m$ $\alpha = 60^\circ$		25	50	75	100	125	150
Kapsama Alanı (İlk Dağıtım) (%)	En düşük	12.33	25.36	37.17	45.55	53.95	61.39
	Ortalama	15.65	28.28	39.69	48.38	56.28	63.26
	En Yüksek	16.89	30.88	42.38	51.44	58.62	65.86
Kapsama Alanı (AFUP Sonrası) (%)	En düşük	17.63	33.23	46.73	58.93	67.68	75.51
	Ortalama	18.48	34.96	49.28	60.56	69.80	77.23
	En Yüksek	18.76	35.92	51.55	63.14	71.52	78.94
Kapsama Alanı (W-AFUP Sonrası) (%)	En düşük	18.42	35.66	51.10	64.08	75.51	81.91
	Ortalama	18.71	36.40	52.42	66.12	76.65	83.99
	En Yüksek	18.82	37.07	54.21	68.79	78.94	86.50
Optimum Yerleştirme (%)		18.84	37.68	56.52	75.62	94.20	113.68

Çizelge 6.3'te rasgele dağıtım, AFUP ve W-AFUP algoritmaları için sınır değerler verilmiştir. Farklı yoğunluklar için yapılan testlerde elde edilen en düşük, en yüksek ve tekrarların ortalaması olmak üzere üç farklı değer verilmiştir.

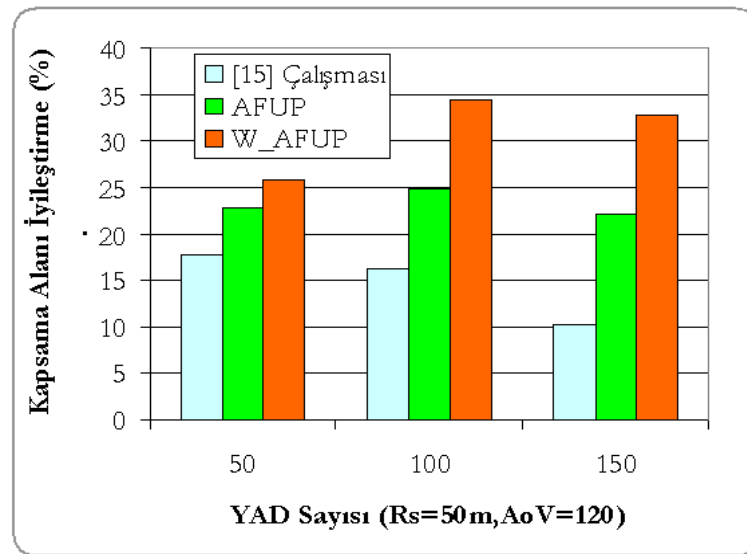
AFUP ve W-AFUP arasındaki performansı farkını yaratan en önemli nokta, örtüşme azaltım oranlarında W-AFUP'un yüksek başarısıdır. %93'lere kadar örtüşen alanları azaltmayı başaran W-AFUP, özellikle yoğun YAA'larda AFUP'a göre çok daha başarılıdır. Örneğin, 150 YAD'ın atıldığı senaryoda AFUP az da olsa negatif sonuç üretirken, W-AFUP örtüşen alanları indirgemeyi başarabilmiştir. Yoğun YAA'larda örtüşen alanların artmasının en önemli sebebi, sınır YAD'ların bakış açılarının iç bölgeye döndürülmesidir. Bu işlem sonucunda daha önce örtüşmeye dahil olmayan görüş alanlarının eklenmesi söz konusudur. Şekil 6.12'de AFUP ve W-AFUP'un farklı YAD sayıları için örtüşme azaltım oranları verilmiştir.



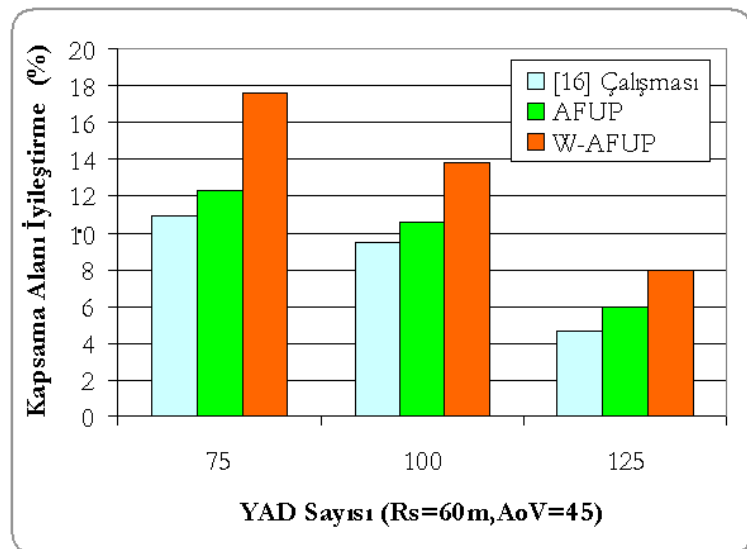
Şekil 6.12 Farklı YAD sayıları için AFUP ve W-AFUP'a ait örtüşme azaltım oranları

Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'te AFUP ve W-AFUP algoritmaları literatürde yer alan diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. [15] çalışmasında, YAD'ların dışa dönük yerleşimini hedefleyen bir algoritma önerilmiştir. Bir hedefin ağ içerisinde yakalanmadan geçmesi

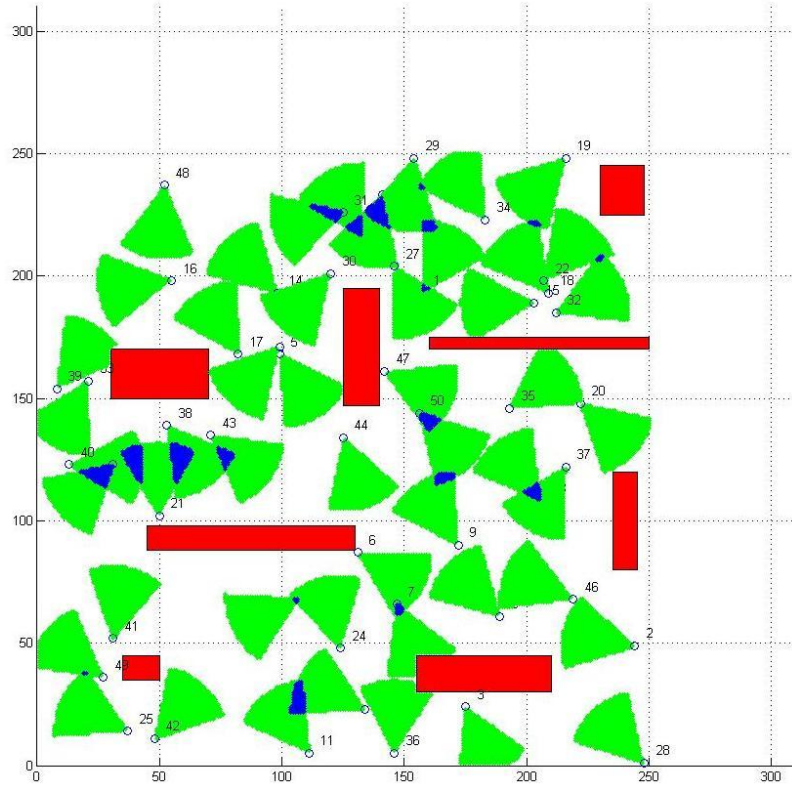
problemine iyi bir çözüm olan bu yaklaşım, en az sayıda YAD ile en fazla alanın kapsanması probleminde yetersiz kalmaktadır. Farklı YAD sayıları için yapılan karşılaştırmada AFUP ve W-AFUP'un daha fazla iyileştirme sağladığı görülmektedir (Şekil 6.13). [16] çalışmasında önerilen algorithmada ise elektriksel kuvvetlerin birbirini itme prensibi uygulanarak birbirine yakın olan YAD'ların çalışma yönlerini değiştirmeleri amaçlanmaktadır. Farklı YAD sayıları için yapılan değerlendirmede kapsama alanı iyileştirme konusunda AFUP'un literatürdeki bu yönetime göre biraz daha başarılı olduğu, W-AFUP'un ise yaklaşık 1.5 kat daha başarılı olduğu görülmektedir (Şekil 6.14).



Şekil 6.13 Literatürdeki [15] çalışması ile AFUP ve W-AFUP'un karşılaştırılması



Şekil 6.14 Literatürdeki [16] çalışması ile AFUP ve W-AFUP'un karşılaştırılması



Şekil 6.16 W-AFUP sonrası YAD'ların görüş alanları

Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5'te AFUP ve W-AFUP algoritmalarının engelli ortamda farklı sayıda YAD için kapsama alanı iyileştirme oranları verilmiştir. Sonuçlar, 4 adet engelin bulunduğu bir ortamda elde edilmiştir.

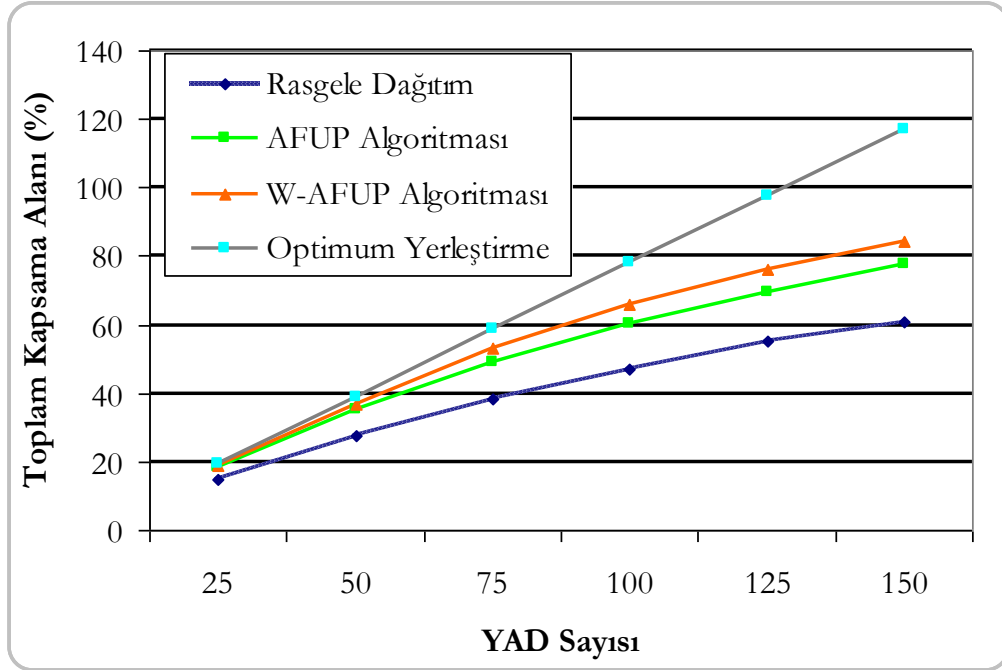
Çizelge 6.4 Engelli ortamda AFUP algoritmasının toplam kapsama alanına etkisi

$R_s=30m$ $\alpha = 60^\circ$	Kapsama Alanı (İlk Dağıtım) (%)	Kapsama Alanı (AFUP Sonrası) (%)	İyileştirme Oranı (%)
N = 25	14.99	18.53	23.64
N = 50	27.34	35.26	28.97
N = 75	38.39	48.81	27.13
N = 100	47.14	60.23	27.74
N = 125	55.12	69.34	25.80
N = 150	60.89	77.47	27.22

Çizelge 6.5 Engelli ortamda W-AFUP algoritmasının toplam kapsama alanına etkisi

$R_s=30m$ $\alpha = 60^\circ$	Kapsama Alanı (İlk Dağıtım) (%)	Kapsama Alanı (W-AFUP Sonrası) (%)	İyileştirme Oranı (%)
N = 25	14.99	19.09	27.34
N = 50	27.34	36.84	34.74
N = 75	38.39	52.89	37.75
N = 100	47.14	66.09	40.17
N = 125	55.12	75.99	37.86
N = 150	60.89	84.13	38.17

Şekil 6.17’de ise rasgele dağıtım, AFUP, W-AFUP, optimum dağıtım, farklı yoğunluktaki YAA’lar için karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde W-AFUP’un engelsiz ortamda olduğu gibi engelli ortamda da AFUP’a göre %13’e varan daha fazla iyileştirme sağladığı görülmektedir.



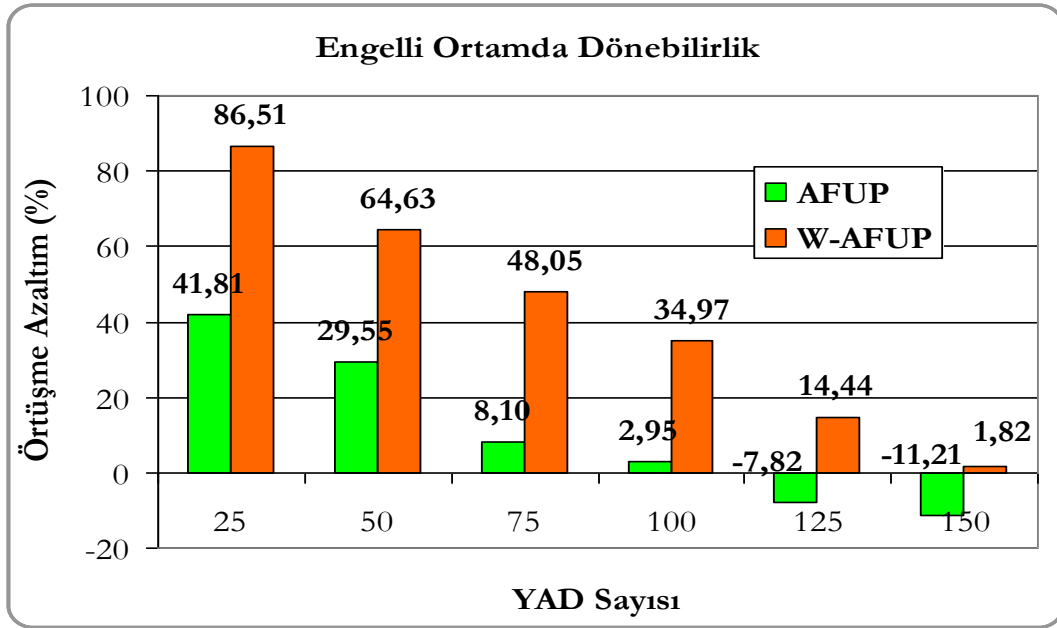
Şekil 6.17 AFUP ve W-AFUP algoritmasının engelli ortamda karşılaştırmalı olarak performans analizi

Çizelge 6.6’da engelli ortamda yapılan testler için rasgele dağıtım, AFUP ve W-AFUP için sınır değerler yer almaktadır. Farklı yoğunluklardaki dağıtımlarda yapılan tüm tekrarlar arasındaki en düşük, en yüksek ve ortalama değerler verilmiştir.

Çizelge 6.6 Engelli ortamda, rasgele dağıtım, AFUP ve W-AFUP algoritmalarının 50 tekrar için sınır değerleri

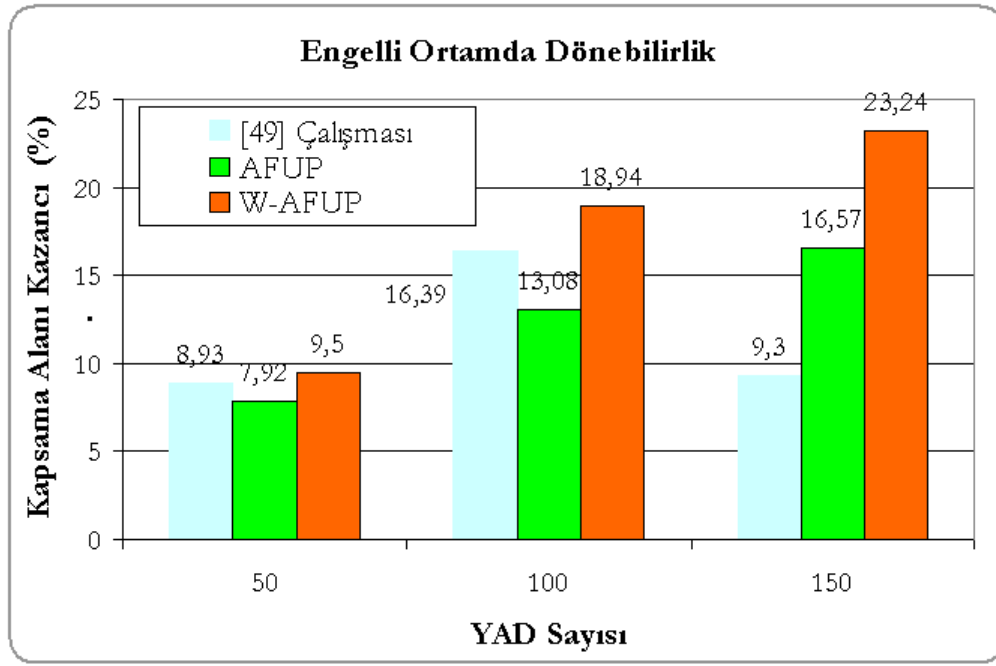
$R_s=30m$ $\alpha = 60^\circ$		25	50	75	100	125	150
Kapsama Alanı (İlk Dağıtım) (%)	En düşük	12.95	24.54	35.18	43.72	52.32	58.14
	Ortalama	14.99	27.34	38.39	47.14	55.12	60.89
	En Yüksek	17.10	31.21	42.08	49.55	58.17	63.69
Kapsama Alanı (AFUP Sonrası) (%)	En düşük	17.88	33.65	47.27	58.44	67.05	73.01
	Ortalama	18.53	35.26	48.81	60.23	69.34	77.47
	En Yüksek	19.27	36.77	50.47	61.16	73.04	78.73
Kapsama Alanı (W-AFUP Sonrası) (%)	En düşük	18.77	35.48	50.84	63.72	73.41	82.98
	Ortalama	19.09	36.84	52.89	66.09	75.99	84.13
	En Yüksek	19.43	37.62	54.43	67.81	77.75	85.57
Optimum Yerleştirme (%)		19.54	39.08	58.64	78.15	97.69	117.23

Şekil 6.18’de ise engelli ortamlarda AFUP ve W-AFUP’un farklı sayıda YAD’lar için örtüşme azaltım oranları karşılaştırılmıştır. W-AFUP ile AFUP’un örtüşme azaltım oranları arasındaki fark, engelli ortamlarda çok daha belirgindir. Grafik incelendiğinde, örtüşme alanlarını azaltmada, W-AFUP’un AFUP’a göre 2 ile 10 kat arasında daha fazla performans sağladığı görülmektedir. Özellikle yoğun YAA’larda AFUP’un performansı W-AFUP’a göre oldukça düşüktür.



Şekil 6.18 Farklı YAD sayıları için AFUP ve W-AFUP'a ait örtüşme azaltım oranları

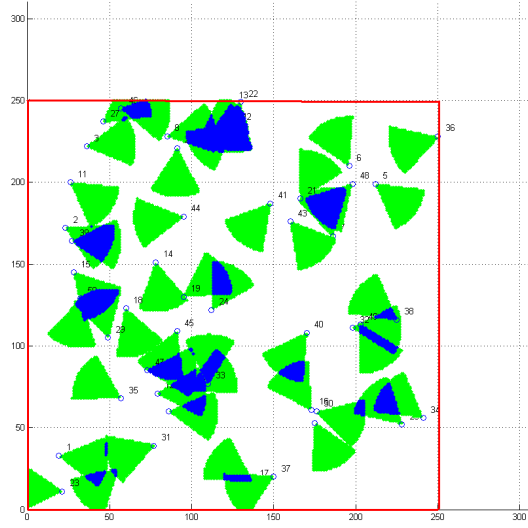
AFUP ve W-AFUP algoritmalarının performansı, literatürde yer alan [49] çalışmasındaki çözüm ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için örtüşme azaltma sayesinde kazanılan alanın toplam kapsama alanına oranı kullanılmıştır. Şekil 6.19 incelendiğinde, örneğin 150 YAD atılan bir senaryoda, toplama kapsama alanını literatürdeki yöntemin [49] %9,3, AFUP'un %16,6, W-AFUP'un %23,2 iyileştirdiği sonucuna varılmaktadır. Aynı zamanda Şekil 6.19, AFUP'un az ve orta yoğunluktaki YAA'larda az da olsa daha başarısız olduğunu göstermektedir. Öte yandan, W-AFUP, literatürdeki [49] yöntemine göre daha başarılı sonuçlar üretmiştir. Özellikle yoğun YAA'larda, toplam kapsama alanına %8'e varan daha fazla katkı sağlamıştır.



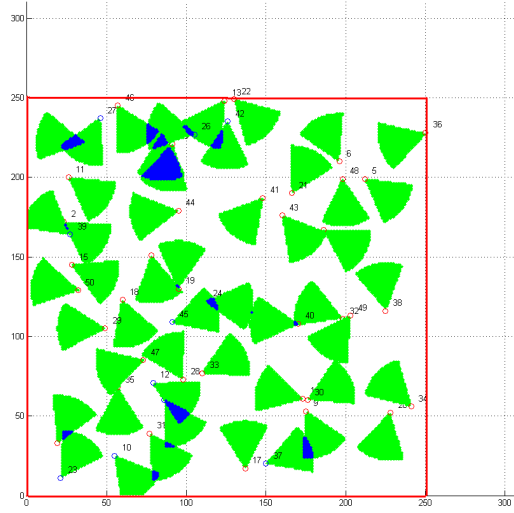
Şekil 6.19 Engelli ortamlarda, literatürdeki [49] çalışması ile AFUP ve W-AFUP'un karşılaştırılması

6.3 Dönme Yeteneğinin, Hareket Yeteneğinin ve Hibrit Hareket Stratejisinin Performans Değerlendirmesi

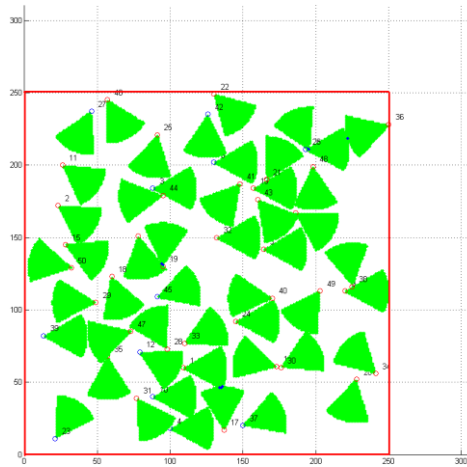
Bir önceki bölümde dönme yeteneğinden faydalanan algoritmaların performansları incelenmiştir. Sonuç bölümünde de belirtildiği gibi dönme yeteneğinin toplam kapsama alanını iyileştirmede başarılı olsa da özellikle bazı senaryolarda yetersiz kalması hareket yeteneğine duyulan ihtiyacı göstermektedir. Bu nedenle, bu bölümde dönme ve hareket yeteneklerinin tek başlarına ve birlikte kullanımı (hibrit hareket stratejisi) incelenmektedir. Bu bölümde, dönme yeteneğini kullanan çözümler arasında daha başarılı sonuçlar üreten W-AFUP, hareket yeteneği için ise WNE algoritması tercih edilmiştir. Hibrit hareket stratejisi için W-AFUP ve WNE algoritmalarını ardışıl olarak kullanan MAM değerlendirilmiştir. Şekil 6.20, Şekil 6.21 ve Şekil 6.22'de YAD'ların görüş alanlarının, dönme ve hareket yeteneklerinin birlikte kullanımı sayesinde değişimi adım adım gösterilmektedir. Şekil 6.20'de toplam kapsama alanının düşük olduğu, Şekil 6.21'de, dönme yeteneğinin örtüşme oranını oldukça azalttığı, fakat gideremediği, Şekil 6.22'de ise hareket sonucu örtüşmenin tamamen ortadan kaldırıldığı ve tam kapsama sağlandığı görülmektedir.



Şekil 6.20 Bir YAA'da ilk dağıtım sonrası YAD'ların görüş alanları

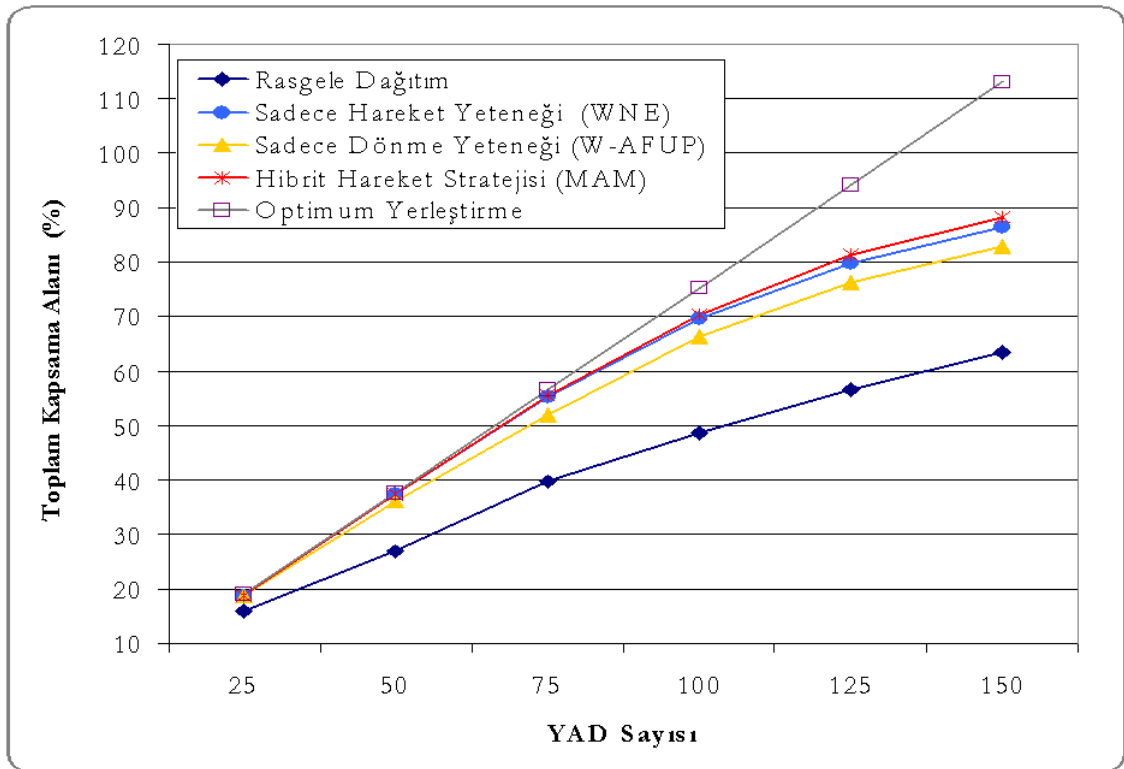


Şekil 6.21 Dönme yeteneğinin YAD'ların görüş alanına etkisi



Şekil 6.22 Hareket yeteneğinin YAD'ların pozisyon ve görüş alanlarına etkisi

Toplam kapsama alanı sonuçlarını gösteren eğriler karşılaştırmalı olarak Şekil 6.23’de gösterilmiştir. Hareket yeteneğinden faydalanılması toplam kapsama alanını oldukça iyileştirmiştir. Özellikle 25, 50 ve 75 YAD’ın atıldığı senaryolarda optimum yerleştirmeye çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Önerdiğimiz MAM, yoğun YAA’larda sadece hareket yeteneğinin kullanıldığı yöntemden az da olsa daha fazla kapsama alanı sağladığı görülmektedir. Bunun en önemli sebebi, yoğun YAA’larda kapsama boşluklarının kısıtlı olması ve bunlara ulaşmak için her iki yeteneğe ihtiyaç duyulmasıdır.



Şekil 6.23 Rasgele dağıtım, sadece dönme, sadece hareket, hibrit hareket stratejisi ve optimum yerleştirmenin karşılaştırmalı olarak performans analizi

Şekil 6.23 incelendiğinde sadece hareket yeteneğinin sadece dönebilme yeteneğine oranla kapsama alanını daha fazla iyileştirildiği görülmektedir. Buna karşın, hareket yeteneğinin yüksek enerji tüketimi tercih edilebilirliğini düşürmektedir. Sonuç olarak, MAM, hem iyileştirme oranı hem de düşük enerji tüketimi nedeniyle diğer çözümlere üstünlük sağlamaktadır.

Çizelge 6.7’de sadece dönme, sadece hareket yeteneklerinin değerlendirildiği çözümler ve bu iki yeteneğin ardışıl kullanıldığı hibrit hareket stratejisine ait en düşük, en yüksek

ve ortalama değerler verilmiştir. Çizelge incelendiğinde sadece hareketin kullanıldığı çözüm ve hibrit hareket stratejisi için değer aralığının oldukça dar olduğu görölmektedir. Bu durum, rasgele dağılım sonrası hareket yeteneğinin oldukça etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6.7 Rasgele dağıtım, sadece dönme, sadece hareket ve hibrit hareket stratejisi için sınır değerleri

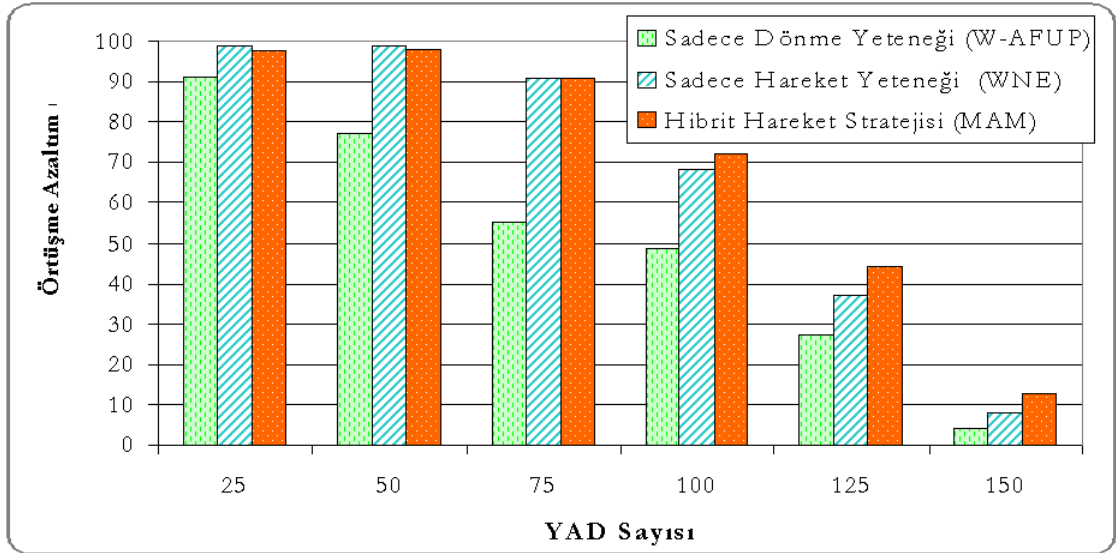
$R_s=30m$ $\alpha = 60^\circ$		25	50	75	100	125	150
Kapsama Alanı (İlk Dağıtım) (%)	En düşük	15.20	24.94	35.86	46.74	54.31	61.31
	Ortalama	15.90	26.90	39.70	48.71	56.49	63.34
	En Yüksek	16.37	28.72	41.65	50.39	58.48	65.79
Kapsama Alanı (Sadece Dönme Sonrası) (W-AFUP) (%)	En düşük	18.57	35.28	50.78	65.46	74.19	81.36
	Ortalama	18.62	36.02	51.98	66.20	76.22	82.91
	En Yüksek	18.69	36.35	52.82	67.28	76.98	84.73
Kapsama Alanı (Sadece Hareket Sonrası) (WNE) (%)	En düşük	18.68	37.29	54.88	69.41	79.49	86.00
	Ortalama	18.71	37.33	55.21	69.60	80.02	86.46
	En Yüksek	18.74	37.37	55.38	69.76	80.63	86.85
Kapsama Alanı (Hibrit Hareket Stratejisi Sonrası) (MAM) (%)	En düşük	18.69	37.31	55.25	69.93	80.89	87.52
	Ortalama	18.74	37.35	55.40	70.31	81.53	88.37
	En Yüksek	18.79	37.45	55.54	70.86	81.97	89.01
Optimum Yerleştirme (%)		18.84	37.68	56.52	75.62	94.20	113.68

Çizelge 6.8’te MAM’ın toplam kapsama alanını ne oranda iyileştirdiği bilgisi verilmektedir. MAM, dönme yeteneğine göre %7-10 arasında daha fazla kapsama alanı sağlarken, toplamda, kapsama alanını %47’ye kadar iyileştirebilmektedir.

Çizelge 6.8 Hibrit çözümün toplam kapsama alanına etkisi

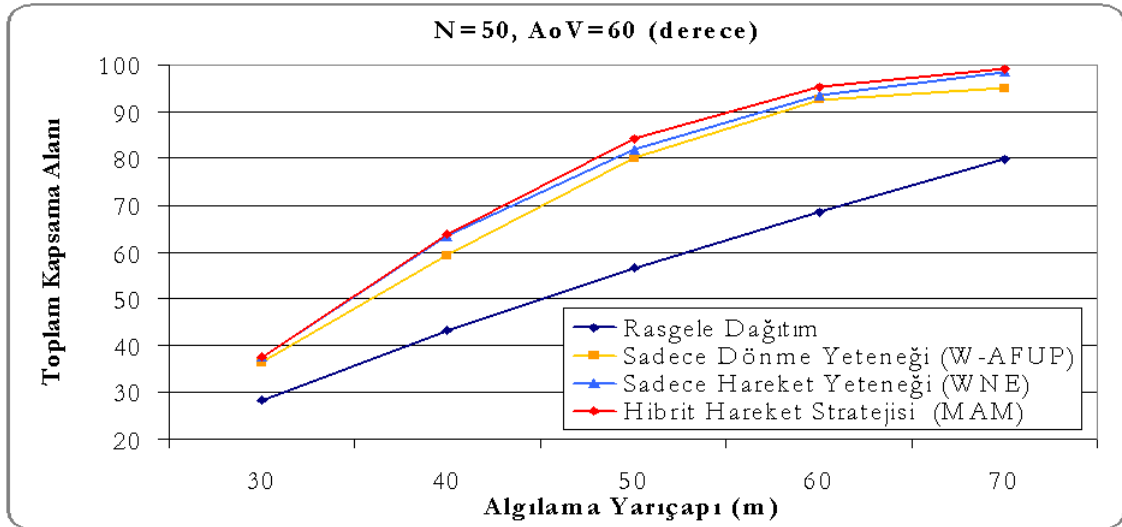
R_s=30m α = 60°	Kapsama Alanı (İlk Dağıtım) (%)	Kapsama Alanı Hibrit Hareket Stratejisi (MAM) Sonrası (%)	İyileştirme (%)
N = 25	15.90	18.74	17.86
N = 50	26.90	37.36	38.88
N = 75	39.70	55.41	39.57
N = 100	48.71	70.31	46.40
N = 125	56.49	81.36	43.97
N = 150	63.34	88.38	39.53

Şekil 6.24’te, dönme, hareket ve hibrit hareket stratejisine ait örtüşme azaltma oranları yer almaktadır. Özellikle 25 ve 50 YAD sayısı için hareket yeteneğinin kullanımı, örtüşen alanlarının neredeyse tamamının ortadan kaldırılmasını sağlamıştır. Daha yoğun YAA’larda ise HHS’nin en yüksek başarıyı elde ettiği görülmektedir. Özellikle 125 ve 150 YAD’ın dağıtıldığı senaryolarda HHS, dönme yeteneğine göre iki kat daha fazla örtüşen alanı ortadan kaldırmıştır.



Şekil 6.24 Sadece dönme, sadece hareket ve hibrit hareket stratejisinin örtüşme azaltım oranları

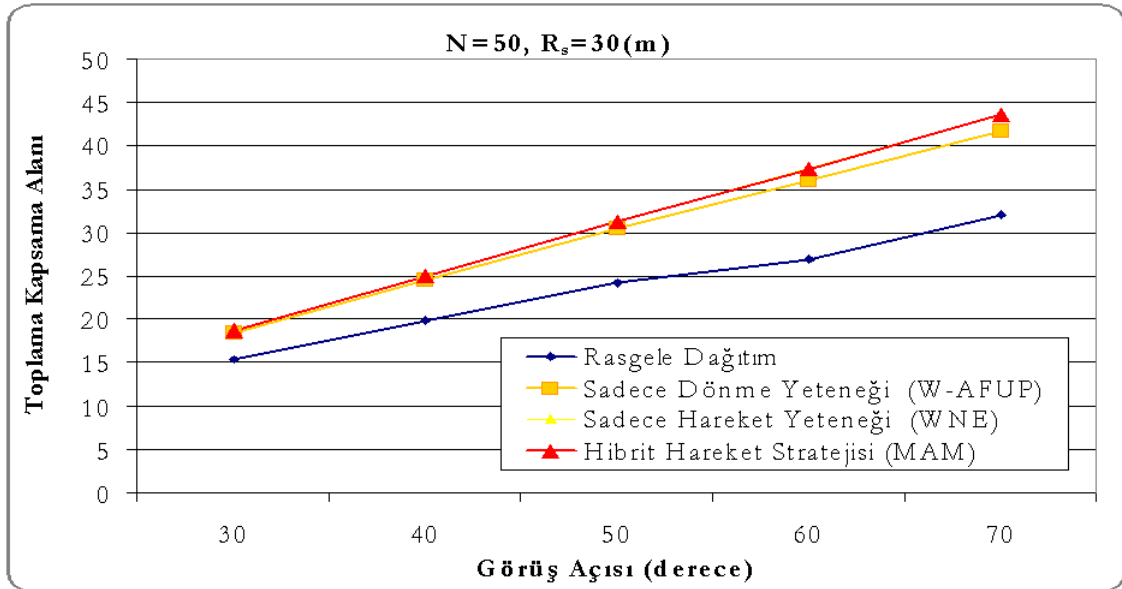
Şekil 6.25'te algılama yarıçapı değişiminin, rasgele dağıtım, dönme, hareket ve HHS üzerindeki etkisi incelenmiştir. MAM, tüm çözümlerden daha başarılı sonuçlar üretmiştir.



Şekil 6.25 Rasgele dağıtım, sadece dönme, sadece hareket ve hibrit hareket stratejisinin farklı algılama yarıçapları için performans analizi

Şekil 6.26 incelendiğinde, görüş açısı değişiminin doğrusal bir katkı sağladığı gözlenmektedir. Görüş alanının çok fazla artmaması nedeniyle, MAM'ın sadece dönme yeteneğine göre çok fazla bir katkı sağlamadığı görülmektedir. Buradan yola çıkarak,

MAM'ın görüş alanı büyük YAD'ların dağıtıldığı ya da yoğunluğu fazla YAA'larda daha başarılı olduğu sonucuna varılmaktadır.

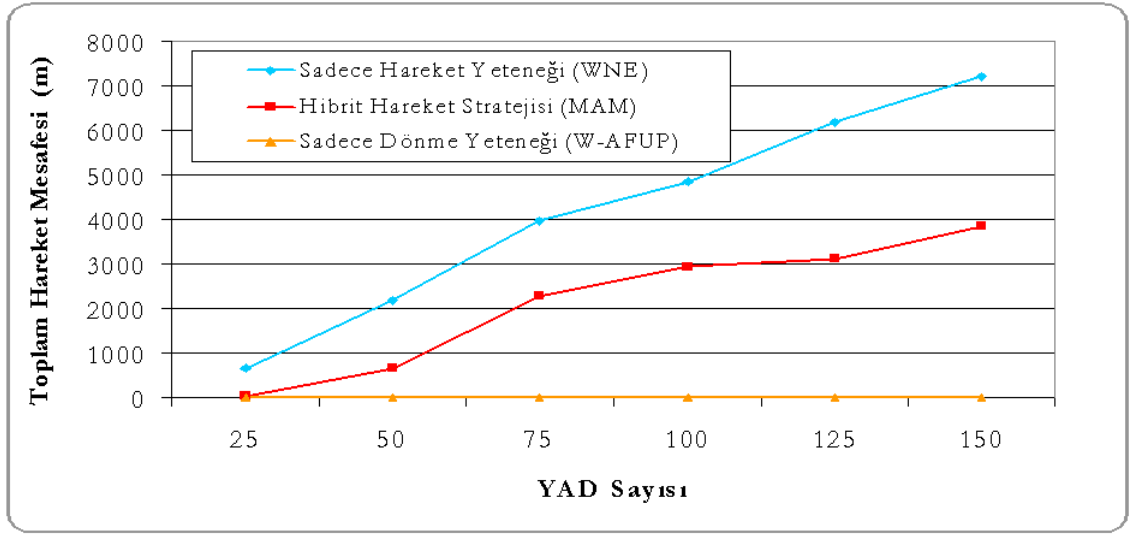


Şekil 6.26 Rasgele dağıtım, sadece dönme, sadece hareket ve hibrit hareket stratejisinin farklı görüş açıları için performans analizi

6.3.1 Enerji Tüketimi

Hibrit hareket stratejisinin en önemli avantajlarından biri de mevcut çözümler arasında kabul edilebilir bir enerji tüketimine sahip olmasıdır. Bir YAD'ın aktiviteleri arasında en fazla enerjiyi fiziksel hareketi tüketmektedir. Dönme, fiziksel hareket ile kıyaslandığında dönerken harcanan enerji göz ardı edilebilmektedir [20,22]. Dönme ve hibrit hareket stratejisinde YAD'ların en fazla 180 derece dönme olasılığı olduğundan enerji tüketimi için hareket eden YAD sayısı ve kat edilen toplam mesafe hesaplanmıştır. Dönme çözümünde fiziksel bir yer değiştirme söz konusu değildir. Kapsama kazancı ve kat edilen toplam mesafe (enerji tüketimi) arasındaki ödünleşimi dengelemek için hibrit hareket stratejisi önerilmektedir.

Şekil 6.27, MAM'ı kullanan YAD'ların, sadece hareket yeteneğinden faydalanan çözümdeki YAD'lara göre yaklaşık yarı yarıya daha az mesafe kaydettiğini göstermektedir. Bunun yanında, Çizelge 6.9'da ise hibrit çözümde YAD'ların en az %65'i hiç hareket etmemektedir. Bu sayede, birçok YAD, kapsama alanı iyileştirme aşamasında enerjilerini koruyabilmektedir.



Şekil 6.27 Sadece dönme, sadece hareket ve hibrit hareket stratejisinde yer değiştiren YAD'ların kat ettiği toplam mesafe

Çizelge 6.9 Hareket eden toplam YAD sayısı

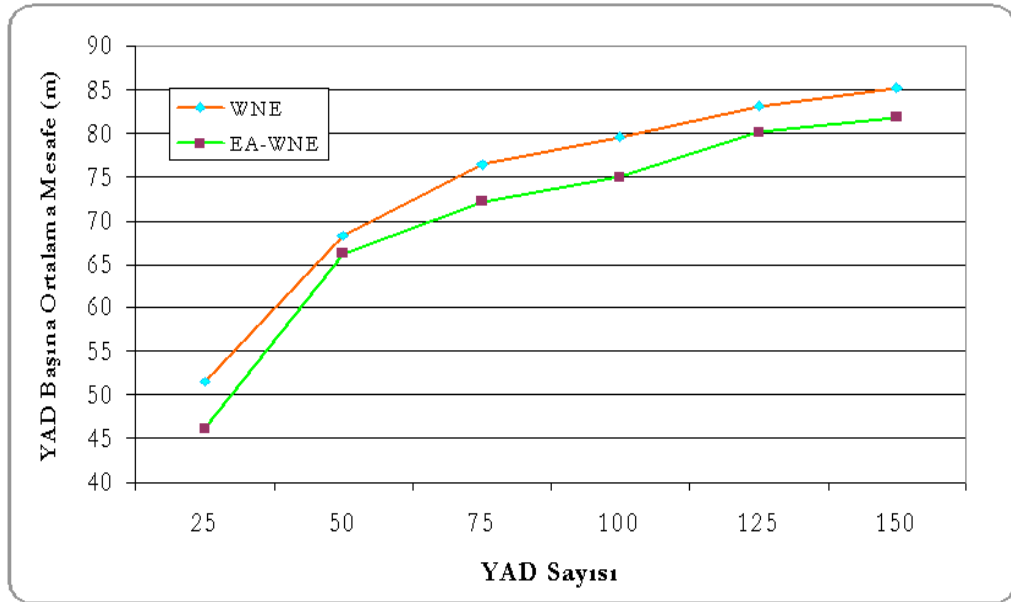
Toplam YAD Sayısı	25	50	75	100	125	150
Sadece Hareket	9	29	49	65	80	89
Hibrit Hareket Stratejisi(MAM)	1	8	28	35	39	43

Çizelge 6.10 incelediğinde dönme hareketinin toplam enerji tüketiminin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Öte yandan, sadece hareket yeteneğinden faydalanmak enerji tüketimini arttırmaktadır. Hibrit hareket stratejisinin, kapsama alanı iyileştirme sırasında harcanan enerjiyi sadece hareket yeteneğine göre oldukça azalttığı görülmektedir.

Çizelge 6.10 YAD'ların kapsama alanı iyileştirme sırasında harcadıkları toplam enerji

Toplam YAD Sayısı	25	50	75	100	125	150
Sadece Hareket Yeteneği (J)	2322	7905	14313	17492	22230	25992
Hibrit Hareket Stratejisi(MAM) (J)	147	2311	8176	10620	11297	13842
Sadece Dönme Yeteneği (J)	13	33	57	72	95	118

EA-WNE algoritması, kapsama alanı iyileştirme sırasında kat edilen mesafeyi olabildiğince fazla YAD'a dağıtmak için tasarlanmıştır. Yapılan testlerde, EA-WNE algoritmasını kullanan YAD'lar, WNE algoritmasını kullanan YAD'lar göre ortalama 2m ile 5m arasında daha az mesafe kat etmişlerdir. Buna rağmen elde edilen toplam kapsama alanı değişmemiştir. Şekil 6.28'de farklı YAD sayıları için hareket algoritmalarının YAD'ların hareket miktarına etkisi verilmiştir.



Şekil 6.28 Kapsama iyileştirme sırasında YAD başına ortalama kat edilen mesafe.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yönlü algılayıcı ağlarda, rasgele dağıtım sonrası oluşan düzensiz yerleşimin yarattığı kapsama boşluklarını gidermek için temelde üç adet kapsama alanı iyileştirme yöntemi mevcuttur; *tekrar dağıtım*, *dönme yeteneğinin kullanımı* ve *hareket yeteneğinin kullanımı*. Tekrar dağıtım, yüksek maliyeti, çevreye verdiği zarar ve tam kapsamayı garanti edememesi nedeniyle yönlü algılayıcı ağlarda pek tercih edilmemiştir. Öte yandan, YAA'da kapsama alanı iyileştirme çözümlerinin tamamına yakını YAD'ların dönme yeteneğinden faydalanmışlardır. Dönme yeteneğinin düşük enerji tüketimi, YAD'ın fiziksel olarak yer değiştirmemesinden dolayı ekstra donanım ihtiyacı duymaması ve birden fazla çalışma yönünü desteklemesi, araştırmacıları bu çözüme yöneltmiştir. Son dönemde, hareket kabiliyeti olan YAD'ların ucuzlaması ile birlikte, geleneksel algılayıcı ağlarda en önemli çözüm olan hareket kabiliyetinin YAA'da kullanılması gündeme gelmiştir. Kapsamlı literatür çalışması sonucunda sadece Liang ve arkadaşlarının YAA'da kapsama alanı iyileştirme için hareket yeteneğinden faydalandıkları belirlenmiştir [9]. Bu tez çalışmasında, YAD'ların çalışma yönleri değiştirilmeyip sadece fiziksel konumları değiştirilerek kapsama alanı iyileştirilmiştir.

Dönme yeteneğinin sadece YAD'ların etrafındaki kapsama boşluklarını giderebilmesi, hareket yeteneğinin ise yüksek maliyeti bizi hibrit bir çözüm tasarlamaya yöneltmiştir. Bu tez çalışması kapsamında, YAA'da kapsama alanı problemi için literatürde yeni bir yöntem olan sırasıyla dönme ve hareket yeteneklerinin ardışıl bir şekilde kullanıldığı hibrit hareket stratejisi önerilmiştir. Önerilen çözüm, dönme yeteneğinin düşük enerji tüketimi ile hareket yeteneğinin esnekliğini biraraya getirmektedir. Hibrit hareket

stratejisi, kapsama alanı iyileştirme oranı ile enerji tüketimi arasında dengeyi kuran optimum bir çözümdür.

Hibrit hareket stratejisinin, sadece dönme ve sadece hareket çözümlerine göre verimliliğini ortaya koymak amacıyla iki adet dönme yeteneğinden faydalanan iki adet de hareket yeteneğinden faydalanan dört adet algoritmik çözüm üretilmiştir. Dağıtık yapıdaki çözümlerin, Algoritmik çözümlerin performans değerlendirmesi için MATLAB ortamında nesneye dayalı bir programlama dili kullanılarak bir simülasyon ortamı geliştirilmiştir.

Simülasyon ortamında yapılan testlerde öncelikle dönme yeteneğinden faydalanan AFUP ve W-AFUP algoritmaları karşılaştırılmıştır. Yapılan testler sonucunda, engelsiz ortamlarda AFUP'un toplam kapsama oranını %18-25 arasında, W-AFUP'un ise %20-37 arasında iyileştirdiği gözlenmiştir. Engelli ortamlarda ise AFUP'un %23-29, W-AFUP'un ise %27-40 arasında toplam kapsama alanını iyileştirdiği gözlenmiştir. Her iki çözümün de 5-6 iterasyonda yakınsadığı ve en fazla iyileştirme oranını toplam kapsama alanını %75 dolduracak sayıda atılan YAD senaryosunda sağladığı belirlenmiştir. AFUP ile W-AFUP'un örtüşme azaltım oranları incelendiğinde, W-AFUP'un 2 ile 10 kat arasında daha fazla performans sağladığı çok yoğun ağlarda bile azaltım sağlayabildiği görülmüştür. AFUP ve W-AFUP literatürdeki mevcut çözümler ile karşılaştırılmış ve sırası ile %15 ve %25'e varan daha başarılı sonuçlar ürettikleri görülmüştür.

Mevcut çözümlerin tamamına yakını engelsiz ortamlar için üretilmiştir. Sadece bir çalışma [49][97], YAA'daki kapsama alanı problemini engelli ortamlar için değerlendirmiştir. Bu çalışmada önerilen algoritma ile AFUP ve W-AFUP algoritmaları karşılaştırılmış ve AFUP'un mevcut algoritma ile benzer sonuçlar ürettiği, W-AFUP'un ise özellikle yoğun YAD dağıtımlarında %14'e varan daha başarılı sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Hibrit hareket stratejisinde, mevcut dönme ve hareket yeteneğinden faydalanan algoritmalarından herhangi ikisini seçip kullanmak mümkündür. Tüm testler sonucunda W-AFUP'un AFUP'a göre oldukça üstün olması nedeniyle hibrit hareket stratejisinin dönme kısmında W-AFUP tercih edilmiştir. Hareket kısmı için WNE algoritması

seçilmiştir. W-AFUP ve WNE içeren hibrit hareket stratejisi, MAM olarak adlandırılmıştır.

Dönme yeteneğinden faydalanan YAD'lar sadece kendi görüş alanlarındaki kapsama boşluklarını giderebilirler. Bu nedenle, kapsama alanı iyileştirme oranı dönme yeteneğinden faydalanan çözümlerde sınırlıdır. Yapılan testler sonucunda, dönme yeteneğinin düşük ve orta yoğunluktaki YAA'larda optimum çözüme oldukça yakın çözümler ürettiği belirlenmiştir. Öte yandan yoğun ve çok yoğun YAA'larda dönme yeteneğinin toplam kapsama alanını belirli bir eşiğe kadar yükseltebildiği gözlenmiştir. Hareket yeteneğinin kullanımı ile bu eşik aşılarak yaklaşık %7'ye varan ekstra kapsama alanı sağlanmıştır. Yapılan testler sonucunda, MAM'ın, sadece dönme çözümü dışında, yoğun YAA'larda sadece hareket yeteneğinin kullanıldığı yöntemden de daha fazla kapsama alanı sağladığı görülmüştür. Bunun en önemli nedeni, yoğun YAA'larda arada kalan kapsama boşluklarının ancak YAD'ların döndürülmesiyle giderilebilmesidir. Simülasyon sonuçları, MAM'ın %47'ye varan iyileştirme oranı sağladığını göstermektedir. Ayrıca, önerilen hibrit hareket stratejisi çok yoğun YAA'lar dışında tüm YAA'larda optimuma çok yakın sonuçlar elde etmemizi sağlamıştır.

YAD'ların kısıtlı pil kapasiteleri nedeniyle tüm aktivitelerinde mümkün olan en düşük enerji tüketimi ile çalışmaları temel amaçtır. YAD'ların ilk dağıtım sonrası kendi kendilerine organize oldukları bu çözümde en fazla kapsama alanını en düşük enerji ile elde etmeleri gerekmektedir. Oluşturulan senaryolarda, MAM, sadece hareket yeteneğinin kullanıldığı çözümlere göre aynı kapsama alanı iyileştirme oranı sağlamakla birlikte en az %40 oranında enerji tasarrufu sağlamıştır.

Sonuç olarak, bu tez çalışması kapsamında YAA'daki kapsama alanı modeli ve problemi ortaya konmuş, dairesel-yönlü algılayıcı ağlar ile YAA'nın farklılıkları tariflenerek, dönme ve hareket yeteneklerinin kapsama alanı iyileştirme oranına ve enerji tüketimine etkisi incelenmiştir, YAA'daki kapsama alanı problemi için yeni bir yöntem olan hibrit hareket stratejisi önerilmiştir. Performans değerlendirmesi sonucunda dönme yeteneğinin kapsama alanı iyileştirme için az ve orta yoğunluktaki YAA'larda yeterli olduğu, yoğun ve çok yoğun YAA'larda ise hem dönme hem de hareket yeteneğine ihtiyaç duyulduğu ortaya konmuştur.

Mevcut alışmaların 2B uzay ve engelsiz ortamlar için üretildiği düşünüldüğünde, 3B uzay ve engelli ortamlar için yapılacak yeni çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, dağıtık çözümlerde YAD'ların karar verme önceliğini etkileyen parametrelerin incelenmesi kapsama alanı iyileştirme çözümlerine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

-
- [1] Liu H., Wan P., Yi C.-W., Jia X., Makki S. ve Pissinou N., (2005), "Maximal lifetime scheduling in sensor surveillance networks", Proc. of Intl. Conf. on Computer Communications (INFOCOM'05), 4:2482–2491.
 - [2] Cardei M., Thai M., Li Y., ve Wu W., (2005), "Energy-efficient target coverage in wireless sensor networks", Proc. of Intl. Conf. on Computer Communications (INFOCOM'05), 3:1976–1984.
 - [3] Huang C.-F. ve Tseng Y.-C., (2005), "A survey of solutions to the coverage problems in wireless sensor networks", Journal of Internet Technology, 6:1–8.
 - [4] Megerian S., Koushanfar F., Potkonjak M. ve Srivastava M., (2005), "Worst and best-case coverage in sensor networks", IEEE Transactions on Mobile Computing, 1:84–92.
 - [5] Ghosh A. ve Das S.K., (2008), "Coverage and connectivity issues in wireless sensor networks: a survey", Pervasive and Mobile Computing, 4(3):303–334.
 - [6] Guvensan M. A. ve Yavuz A. G., (2011), "On coverage issues in directional sensor networks: A survey", Ad Hoc Networks (Elsevier), 9(7):1238–1255.
 - [7] Costa D. G. ve Guedes L. A., (2010), "The coverage problem in video-based wireless sensor networks: A survey", Sensors, 10(9):8215–8247.
 - [8] Fan G. ve Jin S., " Coverage problem in wireless sensor network: A survey, Journal of Networks, 5(9).
 - [9] Liang C.-K., He M.-C. ve Tsai C.-H., (2010), "Movement assisted sensor deployment in directional sensor networks", Proc. of Intl. Conf. on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks.
 - [10] Ai J. ve Abouzeid A.A., (2006), "Coverage by directional sensors in randomly deployed wireless sensor networks", Journal of Combinatorial Optimization, 11(1):21–41.
 - [11] Cai Y., Lou W. ve Li M., (2007), "Cover set problem in directional sensor networks", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Future Generation Communication and Networking (FGCN'07), Washington, DC, USA, 274–278.
 - [12] Cai Y., Lou W., Li M. ve Li X.-Y., (2009), "Energy efficient target-oriented scheduling in directional sensor networks", IEEE Transactions on Computers, 58(9):1259-1274.

- [13] Li J., Wang R.-C., Huang H.-P. ve Sun L.-J., (2009), "Voronoi based area coverage optimization for directional sensor networks", Proc. of Intl. Symposium on Electronic Commerce and Security (ISECS'09), Nanchang, China, 488–493.
- [14] Ma H., Zhang X. ve Ming A., (2009), "A coverage-enhancing method for 3d directional sensor networks", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Computer Communications (INFOCOM'09), Rio de Janeiro, Brazil, 2791–2795.
- [15] Tao D., Ma H. ve Liu L., (2006), "Coverage-enhancing algorithm for directional sensor networks", Lecture Notes in Computer Science: Mobile Adhoc and Sensor Networks, (4325):256–267.
- [16] Zhao J. ve Zheng J.-C., (2009), "An electrostatic field-based coverage-enhancing algorithm for wireless multimedia sensor networks", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCom'09), Beijing, China, 1–5.
- [17] Cheng W., Li S., Liao X., Changxiang S., Chen H., (2007), "Maximal coverage scheduling in randomly deployed directional sensor networks", Proc. of Intl. Conf. on Parallel Processing Workshops (ICPPW'07), Xi- An, China.
- [18] Kandoth C. ve Chellappan S., (2009), "Angular mobility assisted coverage in directional sensor networks", Proc. of Intl. Conf. on Network-Based Information Systems (NBIS'09), 376–379.
- [19] Mp Motion Sensor Panasonic Inc., <http://pewa.panasonic.com/components/built-in-sensors/passive-infrared-sensors/>, 15 Ocak 2011.
- [20] Dantu K., Rahimi M., Shah H., Babel E., Dhariwal A., ve Sukhatme G.S., (2005), "Robomote: enabling mobility in sensor networks", Proc. of IEEE/ACM Intl. Conf. on Information Processing in Sensor Networks (IPSN'05), 404–409.
- [21] Kansal A., Kaiser W., Pottie G., Srivastava M. ve Sukhatme G., (2007), "Reconfiguration methods for mobile sensor networks", ACM Transactions on Sensor Networks (4).
- [22] O'Rourke D., Jurdak R., Jim Liu Moore D. ve Wark T., (2009), "On the feasibility of using servo-mechanisms in wireless multimedia sensor network deployments," IEEE 34th Conference on Local Computer Networks (LCN'09), 826-833.
- [23] Akyildiz I.F., Su W., Sankarasubramaniam Y. ve E. Cayirci, (2002), "Wireless sensor networks: a survey", Computer Networks 38:393–422.
- [24] Onur E., Ersoy C., Delic H. ve Akarun L., (2007), "Surveillance wireless sensor networks: deployment quality analysis", Network, IEEE, 21(6):48–53.
- [25] Akyildiz I., Melodia T. ve Chowdhury K., (2008), "Wireless multimedia sensor networks: applications and testbeds", Proceedings of the IEEE 96, 10:1588–1605.
- [26] A. Greenleaf, (1950), Photographic Optics, Macmillan.

- [27] Carnegie Mellon University, CMUcam3 Datasheet Version 1.02, <http://www.superrobotica.com/download/cmucam3/>, 22 Aralık 2010.
- [28] Omnivision Technologies, <http://www.ovt.com>, 20 Ocak 2011.
- [29] Agilent Technologies, <http://www.home.agilent.com>, 19 Ocak 2011.
- [30] Wireless Distributed Communications, Libelium, SquidBee, <http://www.libelium.com/squidbee/>, 5 Ocak 2011.
- [31] Chen P., Songhwai O., Manzo M., Sinopoli B., Sharp C., Whitehouse K., Tolle O., Jaein J., Dutta P., Hui J., Schaffert S., Sukun K., Taneja J., Zhu B., Roosta T., Howard M., Culler D. ve Sastry S., (2006), "Instrumenting wireless sensor networks for real-time surveillance", Proc. of Intl. IEEE Conf. on Robotics and Automation (ICRA'06), 3128–3133.
- [32] Hydra Pir Sensor Datasheet, <http://www.selex-sas.com>, 15 Ocak 2011.
- [33] Senix Ultrasonic Distance Sensors, <http://www.senix.com>, 15 Ocak 2011.
- [34] Riko Ultrasonic Sensors, <http://www.riko.com>, 15 Ocak 2011.
- [35] Akkaya K. ve Younis M., (2005), "A survey of routing protocols in wireless sensor networks", Ad Hoc Networks (Elsevier), 3(3):325–349.
- [36] Demirkol I., Ersoy C. ve Alagoz F., (2006), "Mac protocols for wireless sensor networks: A survey", IEEE Communications Magazine, 44(4):115–121.
- [37] Melodia T., Vuran M.C. ve Pompili D., (2005), "The state of the art in cross-layer design for wireless sensor networks", Proceedings of EuroNGI Workshops on Wireless and Mobility, Lecture Notes in Computer Science, 3883, Como, Italy.
- [38] Mohamed Y. ve Akkaya K., (2008), "Strategies and techniques for node placement in wireless sensor networks: a survey", Ad Hoc Networks (4):621–655.
- [39] Oyman E. ve Ersoy C., (2004), "Multiple sink network design problem in large scale wireless sensor networks", Proc. of the IEEE Intl. Conf. on Communications, Paris, France, 3663–3667.
- [40] Pan J., Cai L., Hou Y., Shi Y. ve Shen S., (2005), "Optimal base-station locations in two-tiered wireless sensor networks", IEEE Transactions on Mobile Computing, (5): 458–473.
- [41] Vincze Z., Vida R., ve Vidacs A., (2007), "Deploying multiple sinks in multi-hop wireless sensor networks", Proc. of the IEEE Intl. Conf. on Pervasive Services (ICPS'07), Istanbul, Turkey, 55–63.
- [42] Lin Y., Wu Q., Cai X., Du X. ve Kwon K.-H., (2010), "On deployment of multiple base stations for energy-efficient communication in wireless sensor networks", Hindawi Intl. Journal of Distributed Sensor Networks.
- [43] Soro S. ve Heinzelman W., (2009), "A survey of visual sensor networks", Hindawi Advances in Multimedia.

- [44] Akyildiz I.F., Melodia T. ve Chowdhury K.R., (2007), "A survey on wireless multimedia sensor networks", *Computer Networks (Elsevier)*, 51(4):921–960.
- [45] Kansal A., Kaiser W.J., Pottie G.J. ve Srivastava M.B., (2005), "Actuation techniques for sensing uncertainty reduction", *Tech. Rep.*
- [46] Marengoni M., Draper B., Handson A. ve Sitaraman R., (1996), "A System to place observers on a Polyhedral Terrain in a Polynomial Time", *Image Vision Computing*, 18:773-780.
- [47] Yang Y. ve Cardei M., (2007), "Movement-assisted sensor redeployment scheme for network lifetime increase", *Proc. of ACM Intl. Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM'07)*, 13–20.
- [48] Xingyu P. ve Hongyi Y., (2006), "Redeployment problem for wireless sensor networks", *Proc. of Intl. Conf. on Communication Technology (ICCT'06)*, 1–4.
- [49] Tezcan N. ve Wang W., (2008), "Self-orienting wireless multimedia sensor networks for occlusion-free viewpoints", *Computer Networks (Elsevier)*, (13):2558–2567.
- [50] Newell A. ve Akkaya K., (2009), "Self-actuation of camera sensors for redundant data elimination in wireless multimedia sensor networks", *IEEE Intl. Conf. on Communications (ICC'09)*, 1–5.
- [51] Osais Y., St-Hilaire M. ve Yu F., (2008), "The minimum cost sensor placement problem for directional wireless sensor networks", *Proc. of. IEEE Intl. Conf. on Vehicular Technology (VTC 2008)*, Calgary, Canada.
- [52] Wang G.G., Cao G., Berman P., ve La Porta T.F., (2007), "Bidding protocols for deploying mobile sensors", *IEEE Transactions on Mobile Computing* (5):563–576.
- [53] Chellappan S., Gu W., Bai X., Xuan D., Ma B. ve Zhang K., (2007), "Deploying wireless sensor networks under limited mobility constraints", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 6:1142–1157.
- [54] Heo N. ve Varshney P., (2005), "Energy-efficient deployment of intelligent mobile sensor networks", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 35(1):78–92.
- [55] Guvensan M. A. ve Yavuz A. G., (2011), "A Hybrid Solution For Coverage Enhancement in Directional Sensor Networks", *7th Intl. Conf. On Wireless and Mobile Communications (ICWMC'11)*, Luxembourg.
- [56] Makhoul A., Saadi R. ve Pham C., (2009), "Adaptive scheduling of wireless video sensor nodes for surveillance applications", *Proc. of ACM Workshop on Performance Monitoring and Measurement of Heterogeneous Wireless and Wired Networks Tenerife, Canary Islands, Spain*, 54–60.
- [57] Bai Y. ve Qi H., (2009), "Redundancy removal through semantic neighbor selection in visual sensor networks", *Proc. of ACM/IEEE Intl. Conf. on Distributed Smart Cameras (ICDSC'09)*, Como, Italy, 1–8.

- [58] Lin Y.-T., Saluja K. ve Megerian S., (2008), "Cost efficient wireless camera sensor deployment strategy for environment monitoring applications", IEEE GLOBECOM Workshops, 1–6.
- [59] Fusco G. ve Gupta H., (2009), "Selection and orientation of directional sensors for coverage maximization", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON'09), Rome, Italy, 1–9.
- [60] Plarre K. ve Kumar P., (2008), "Tracking objects with networked scattered directional sensors", EURASIP Journal on Advances in Signal Processing (360912):10.
- [61] Liu L., Zhang X. ve Ma H., (2009), "Exposure-path prevention in directional sensor networks using sector model based percolation", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Communications (ICC'09), Dresden, Germany, 1–5.
- [62] Chen U.-R., Chiou B.-S., Chen J.-M. ve Lin W., (2008), "An adjustable target coverage method in directional sensor networks", Asia-Pacific Conference on Services Computing, Los Alamitos, CA, USA, 174–180.
- [63] Wen J., Fang L., Jiang J. ve Dou W., (2008), "Coverage optimizing and node scheduling in directional wireless sensor networks", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCom'08), Dalian, China, 1–4.
- [64] Osais Y., St-Hilaire M. ve Yu F., (2008), "Directional sensor placement with optimal sensing range, field of view and orientation", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Wireless and Mobile Computing (WIMOB'08), Avignon, France, 19–24.
- [65] Wu Y., Yin J., Li M., En Z. ve Xie Z., (2008), "Efficient algorithms for probabilistic k-coverage in directional sensor networks", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Intelligent Sensors Networks and Information Processing (ISSNIP'08), Sydney, Australia, 587–592.
- [66] Wang J., Niu C. ve Shen R., (2009), "Priority-based target coverage in directional sensor networks using a genetic algorithm", Computers and Mathematics with Applications, 57(11):1915–1922.
- [67] Osais Y., St-Hilaire M. ve Yu F., (2009), "On sensor placement for directional wireless sensor networks", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Communications (ICC'09), Dresden, Germany, 1–5.
- [68] Han X., Cao X., Lloyd E. ve Shen C.-C., (2008), "Deploying directional sensor networks with guaranteed connectivity and coverage", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON'08), San Francisco, USA, 153–160.
- [69] Kumar S., Lai T.H. ve Arora A., (2005), "Barrier coverage with wireless sensors", Proc. of ACM Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom'05), 284–298.
- [70] Hochbaum D.S., (1997), "Approximating covering and packing problems: set cover, vertex cover, independent set, and related problems", 94–143.

- [71] Tian D. ve Georganas N.D., (2002), "A coverage-preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks", Proc. of ACM Intl. Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA'02), 32–41.
- [72] Wang X., Xing G., Zhang Y., Lu C., Pless R. ve Gill C., (2003), "Integrated coverage and connectivity configuration in wireless sensor networks", Proc. of ACM Intl. Conf. on Embedded Networked Sensor Systems (SENSYS'03), 28–39.
- [73] Ye F., Zhong G., Lu S. ve Zhang L., (2002), "Peas: a robust energy conserving protocol for long-lived sensor networks", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Network Protocols, 200–201.
- [74] Zhang H. ve Hou J., (2005), "Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks", Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, 1:(1–2).
- [75] Huang C.-F. ve Tseng Y.-C., (2005), "The coverage problem in a wireless sensor network", Mobile Networks and Applications, 10:519–528.
- [76] Meguerdichian S., Koushanfar F., Potkonjak M. ve Srivastava M., (2001), "Coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Computer and Communications (INFOCOM'01), 3:1380–1387.
- [77] Chen H., Wu H. ve Tzeng N.-F., (2004), "Grid-based approach for working node selection in wireless sensor networks", Proc. Intl. Conf on Communications, Paris, France, (6):3673–3678.
- [78] Wang G., Cao G. ve Porta T.L, (2006), "Movement-assisted sensor deployment", IEEE Transactions on Mobile Computing, 5(6):640–652.
- [79] Zhao J., Zeng J.-C., (2010), "A Virtual Centripetal Force-Based Coverage-Enhancing Algorithm for Wireless Multimedia Sensor Networks," Sensors Journal, IEEE , 10(8):1328-1334, 2010.
- [80] Aurenhammer F., (1991), "Voronoi diagrams—a survey of a fundamental geometric data structure", ACM Computing Surveys, 23(3):345–405.
- [81] Iyengar R., Kar K. ve Banerjee S., (2005), "Low-coordination topologies for redundancy in sensor networks", Proc. of ACM Intl. Conf. on Mobile Ad hoc Networking and Computing (MobiHoc'05), 332–342.
- [82] Caragiannis I., Kaklamanis C., Kranakis E., Krizanc D. ve Wiese A., (2008), "Communication in Wireless Networks with Directional Antennae", Proc. of 20th ACM Symposium on Parallelism in Algorithms and Architectures (SPAA'08), Munich, Germany June 14 - 16, 344-351.
- [83] Yu Z., Teng J., Bai X., Xuan D. ve Jia W., (2010), "Connected coverage in wireless sensor networks with directional antennas".
- [84] Giorgetti G., Cidronali A., Gupta S. ve Manes G., (2007), "Exploiting low-cost directional antennas in 2.4 GHz IEEE 802.15.4 wireless sensor networks", European Conference on Wireless Technologies, 217–220.
- [85] Kakoyiannis C., Troubouki S. ve Constantinou P., (2008), "Design and implementation of printed multi-element antennas on wireless sensor

- nodes", 3rd International Symposium on Wireless Pervasive Computing (ISWPC'08), 224–228.
- [86] Leang D. ve Kalis A., (2004), "Smart sensordvb: sensor network development boards with smart antennas", Proc. of Intl. Conf. on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS'04), 2:1476–1480.
 - [87] Ma H. ve Liu Y., (2005), "On coverage problems of directional sensor networks", Lecture Notes in Computer Science: Mobile Ad-hoc and Sensor Networks, 3794:721–731.
 - [88] Han X., Xiang C., Lloyd, E.L., Shen C.-C., (2008), "Deploying Directional Sensor Networks with Guaranteed Connectivity and Coverage," Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, (SECON '08). 5th Annual IEEE Communications Society Conference on , pp.153-160, 16-20 June 2008.
 - [89] Deng J., Han Y.S., Heinzelman W.B. ve Varshney P.K., (2005), "Balanced-energy sleep scheduling scheme for high-density cluster-based sensor networks", Computer Communication, 28(14):1631–1642.
 - [90] Deng J., Han Y.S., Heinzelman W.B. ve Varshney P.K., (2005), "Scheduling sleeping nodes in high density cluster-based sensor networks", Mobile Networks and Applications, 10(6):825–835.
 - [91] Mo W., Qiao D. ve Wang Z., (2006), "Lifetime maximization of sensor networks under connectivity and k-coverage constraints", Proc. of the Intl. Conf. Distributed Computing in Sensor Systems.
 - [92] Yang H., Li D. ve Chen H., (2010), "Coverage quality based target-oriented scheduling in directional sensor networks", Proc. Intl. Conf on Communications, 1–5.
 - [93] Wang J., Niu C. ve Shen R., (2007), "A utility-based maximum lifetime algorithm for directional sensor network", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCom'07), Shanghai, China, 2424–2427.
 - [94] Cardei M. ve Du D.-Z., (2005), "Improving wireless sensor network lifetime through power aware organization", Wireless Networks, 11(3):333–340.
 - [95] Bay H., Ess A., Tuytelaars T. ve Van Gool L., (2008) "Speeded-up robust features (SURF)", Computer Vision and Image Understanding, 110(3):346-359.
 - [96] Lowe, D.G., (1999), "Object recognition from local scale-invariant features," Proc. of the 7th IEEE International Conference on Computer Vision, 2:1150-1157.
 - [97] Tezcan N. ve Wang W., (2008), "Self-orienting Wireless Multimedia Sensor Networks for Maximizing Multimedia Coverage", IEEE International Conference on Communications (ICC'08).
 - [98] He T., Huang C., Blum B. M., Stankovic J. A. ve Abdelzaher T., (2003), "Range-free localization schemes for large scale sensor networks", Proceedings

of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'03), ACM, New York, NY, USA, 81–95.

- [99] Guvensan M. A. ve Yavuz A. G., (2011), "A New Coverage Improvement Algorithm based on Motility Capability of Directional Sensor Nodes", 10th Intl. Conf. Ad Hoc Networks and Wireless (AdHoc-Now'11), Lecture Notes In Computer Science, Paderborn, Germany, 6811:206-219.

SİMÜLASYON ORTAMI

YAA'da dönme ve hareket yeteneklerinin incelenebilmesi amacıyla tarafımızdan MATLAB 7.8'de bir simülasyon ortamı geliştirilmiştir. Nesneye dayalı bir programlama tekniği kullanılarak geliştirilen simülasyon ortamında gözetlenen bölge, yönlü algılayıcı düğüm ve engel olmak üzere üç adet sınıf kullanılmıştır. Bu bölümde, simülasyon ortamında yer alan sistem elemanlarının özellikleri ve davranışları anlatılacaktır.

A-1 Sistem Elemanlarının Özellikleri

Bu bölümde sistem elemanlarının özellikleri detaylı olarak anlatılmaktadır. İlk olarak gözlemlenen bölgenin (GB) özellikleri incelenmektedir.

GB – w,h : Gözlemlenen bölgenin enini ve boyunu ifade eder. En ve boy birbirinden bağımsızdır. Farklı orandaki bölgeler ve baz istasyonunun pozisyonu, ağ yaşam süresini etkileyebilir. Örneğin, uzun ince bir bölgede baz istasyonunun merkezde yer alması baz istasyonuna yakın YAD'ların erken ölmesine neden olacaktır.

GB - $numberOfNodes$: Bölgeye atılan toplam YAD sayısını gösterir. Bölgenin boyutu ve toplam YAD sayısı, YAD'ların algılama yarıçapı ve görüş açısı bilgilerinden faydalanılarak teorik olarak yeterli sayıda YAD atılıp atılmadığına karar verilebilir.

GB-sensorList [] : Gözlemlenen bölgeye atılan YAD listesini saklar.

GB-map [][] : Gözlemlenen bölgenin grid yapısında haritasını saklar. "0" olan noktaların kapsamadığı, "1" olan noktaların kapsandığı kabul edilir.

GB-sortedArrayOfSensors []: YAD'ların Çekim Merkezi adımını hangi sıra ile gerçekleştireceği öncelik sırasına bağlıdır. Her YAD, komşu sayısı ile ters orantılı olarak öncelik sırası alır. Bu liste YAD'ları öncelik sırasına göre saklar.

GB - numberOfObstacles : Gözlenen bölgedeki engel sayısını saklar.

GB - obstacleList [] : Gözlenen bölgedeki engel listesini saklar.

GB – initialMap [][] : Gözlenen bölgenin ilk dağıtım sonrası durumunu saklar.

GB – mobilityMap [][]: Hareket özelliği için kapsanan, kapsanmayan ve iletişim mesafesinden dolayı durumu net olmayan noktaların işaretlendiği haritadır.

GB – horizontalKernel [][]: Tarama işlemi sırasında kullanılan yatay penceredir. Sanal bir YAD'ın görüş alanını içerir. YAD'ın çalışma yönünün 0° olduğu kabul edilir.

GB – verticalKernel [][]: Tarama işlemi sırasında kullanılan dikey penceredir. Sanal bir YAD'ın görüş alanını içerir. YAD'ın çalışma yönünün 270° olduğu kabul edilir.

Gözlemlenen bölgeye atılan YAD'ların özellikleri ise aşağıdakiler gibidir.

YAD – x,y : YAD'ın bulunduğu noktanın yatay ve dikey eksenindeki koordinatlarını ifade eder. Kapsama alanının iyileştirilmesi için yapılan çalışmalarda bu bilgiye sahip olunduğu varsayılır.

YAD – ω : YAD'ın baktığı yönü gösterir. YAD'ın baktığı yön 0 ile 359 derece arasında herhangi bir yön olabilir. YAD'ların çalışma yönü sayısı farklı olarak kabul edilebilir. Örneğin bazı çalışmalarda YAD 0, 90, 180, 270 olmak üzere dört farklı yönde çalışabilirken bazı çalışmalarda 8 farklı çalışma yönüne sahiptir. Teorik olarak bir derece hassasiyetle 360 farklı yönde çalışması mümkün olmasına rağmen işlem karmaşıklığının artmasından dolayı çalışma yön sayısı yapılan araştırmalarda kısıtlanmıştır.

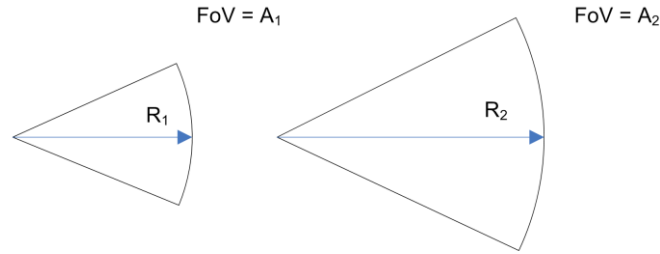
YAD – upperBound: YAD'ın sahip olduğu üst çalışma yönü açısını derece cinsinden ifade eder.

YAD – lowerBound: YAD'ın sahip olduğu alt çalışma yönü açısını derece cinsinden ifade eder.

YAD – r : Algılama yarıçapını ifade eder. $\frac{\alpha}{2} * r^2$ algılanan bölgenin boyutunu belirtir. r 'nin büyümesi algılanan alanın da büyümesi anlamına gelir. Fakat rasgele dağıtımlarda iki farklı YAD'ın taradıkları alanın örtüşmesi mümkündür. Kapsanan efektif alan örtüşme oranının azaltılması sonucunda artacaktır. Şekil Ek-A.1'de görüldüğü gibi görüş açıları eşit ise ;

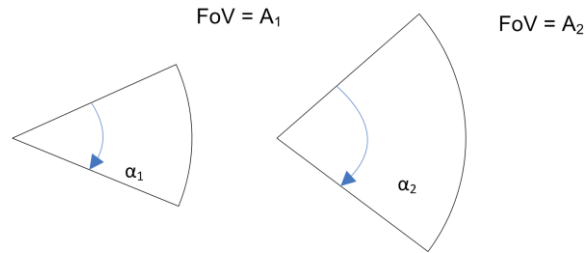
$R_2 > R_1$ ise $A_2 > A_1$

$R_2 < R_1$ ise $A_2 < A_1$



Şekil Ek-A.1 Farklı algılama yarıçapları

YAD – α : Görüş açısının derecesini ifade eder. Görüş açısı 360 derece olan YAD'lar yönden bağımsız olarak algılama yapan telsiz algılayıcı düğümler olarak gösterilebilir. Genelde YAD'ların görüş açıları 90 derecenin altındadır. Görüş açısı genişledikçe algılanan alan da genişler (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**).



Şekil Ek-A.2 Farklı görüş açıları

YAD – cr : İletişim mesafesini gösterir. Ağın bağlanabilirliği bu parametre kullanılarak kontrol edilir. Bir YAD etrafındaki komşularına bu parametreyi kullanarak karar verir. Bir YAD'ın cr yarıçapı içerisinde kalan tüm YAD'lar o YAD'ın komşularını oluşturur.

YAD – ownMap [][]: YAD’a ait kapsanan noktaların tutulduğu haritadır. Çalışma yönü, görüş açısı ve algılama yarıçapından faydalananarak hesaplanır.

YAD – sharedMap [][]: Bir YAD’ın çevresinde yer alan noktalardan hangilerinin kapsandığı bilgisinin tutulduğu matristir. Bu matris kullanılarak komşulardan gelen bilgilerden elde edilen matris eşleştirilerek kaç adet noktanın örtüştüğü bilgisi tek tek her komşu için hesaplanır. Haritadaki sayılar kaç adet YAD’ın o noktayı gördüğünü gösterir.

YAD – aroundMap [][]: YAD’ın çalışma yönünü döndürebileceği olası boş alanları saklar. Komşuların çalışma yönü bilgisinden faydalananır.

YAD – obstacleMap [][]: YAD’ın etrafında yer alan engellerin tutulduğu haritadır. Engel nedeniyle kapsanamayan noktalar da işaretlenir.

YAD- numberOfNeighbors : Bir YAD’ın iletişim kurabileceği komşularının sayısını saklar. YAD, kendi konumlandırmasını yaparken komşularından gelen konum, yön, gerekirse yarıçap ve görüş açısı bilgisini kullanacaktır.

YAD- neighborList [] : Bir YAD’ın komşularına ait bilgilerin saklandığı özelliktir. Tüm komşularından gelen bilgiler burada saklanır.

YAD – overlappedPoint : Bir YAD’ın görüş alanı içerisinde örtüşen nokta sayısını gösterir.

YAD – imbalance : Bir YAD’ın durumunu gösterir. Başlangıçta “dengesiz” konumda olan YAD “dengeli” konuma geçebilmek için her iterasyonda çalışma yönünü değiştirir.

YAD – numberOfObstacles : Bir YAD’ın görüş alanı içerisinde kalan engel sayısını gösterir.

YAD – obstacleList [] : Bir YAD’ın görüş alanı içerisinde yer alan engellerin yer ve boyut bilgisini saklar.

YAD – mobilityHistory [] : Bir YAD’ın hareket sırasında uğradığı yerlerin bilgisini tutar.

YAD – mobilityStep : Bir YAD’ın kaç defa yer değiştirdiği bilgisini saklar.

YAD – sizeOfCostMap : Bir YAD’ın gidilebileceği bölgelerin verimlilik katsayısını tutan dizinin boyutunu gösterir.

YAD – CostMap : Bir YAD'ın gidilebileceği bölgelerin verimlilik katsayısını saklar.

YAD – mobile : Bir YAD'ın hareket edip etmemesi gerektiğini gösteren bilgiyi tutar.

Gözlemlenen bölgeye yerleştirilen engellerin özellikleri ise aşağıdakiler gibidir.

Engel – id : Engelin numarasını belirtir.

Engel – xbas,xson,ybas,yson : Engelin sınırlarını belirtir.

Engel – alan : Engelin boyutunu saklar.

A-2 Sistem Elemanlarının Davranışları

YAD'ların tekrar pozisyonlandırılması ve konumlandırması için GB ve YAD'lar için bazı fonksiyonlar tanımlanmıştır. GB için tanımlı fonksiyonlar aşağıdaki gibidir.

GB – sensedArea() : Alan boyutlarının ve yerleştirilecek YAD sayısının belirlendiği fonksiyondur. Bilgiler kullanıcıdan alınarak alan oluşturulur.

GB – deployNodes() : YAD'ların pozisyonlarını rasgele üreten fonksiyondur. İki farklı YAD'ın aynı noktaya yerleştirilmediği varsayımına dayanarak konum ve pozisyon bilgisi üretilmektedir. YAD'ların dağıtımı için tekdüze dağılım (uniform distribution) modelinden faydalanılmıştır.

GB – createObstacles () : Ortamdaki engellerin üretildiği metottur. Kullanıcıdan alınan bilgiye göre rasgele ya da belirlenen bölgelerde birbirinden farklı N adet engel oluşturulur.

GB – drawNodes() : YAD'ların pozisyonlarına, bakış ve görüş açılarına ve algılama yarıçaplarına göre alanda yerleşimini görsel olarak gösteren metottur (Şekil xxx).

GB – drawObstacles (): Engellerin boyutlarına ve sayısına göre alanda yerleşimini görsel olarak oluşturan metottur.

GB – drawMobility (): YAD'ların hareket noktalarını işaretleyen ve gösteren metottur.

GB – initializeNodes (): YAD'ların her iterasyonda, bazı özelliklerini (kapsama ve kuvvet haritaları, çalışma yönüne bağlı olarak üst/alt sınır çizgileri vb.) ilklendiren metottur.

GB – markMap (): Gözetlenen bölge haritasındaki kapsanan noktaların işaretlenmesini sağlar.

GB – markMobilityMap (): Hareket sırasında yaşanan değişimlerin (kapsan(may)an noktaların işaretlenmesi) kaydedildiği metottur.

GB – sortByNumberOfNeighbor (): YAD'ların komşu sayılarına göre sıralanmasını sağlar.

GB – createNeighborList (): YAD'ların komşularını keşfetmesini sağlayan metottur. . Her YAD için ayrı ayrı çalıştırılır.

GB – callOverlapTest (): YAD'ların örtüşme metotlarını çağıran metottur.

GB – coverageRatio (): Her iterasyonda, tüm bölgenin toplam kapsanma oranının hesaplandığı metottur.

GB – callCalculateForce (): Dönme yeteneği için hangi algoritmanın (AFUP, W-AFUP, vb.) kullanılacağını belirler.

GB – callMarkMobileNodes (): Hangi YAD'ların hareket ettirilmesi gerektiğini belirleyen metottur.

GB – callCalculateDistance (): Hareket eden YAD'ların ne kadar mesafe katettiklerini hesaplayan metodu çağırır.

GB – WNE (): Hareket yeteneğini kullanan algoritmayı çalıştırır.

GB – energyAwareWNE (): Hareket yeteneğini kullanan enerji-dengeli algoritmayı çalıştırır.

GB – setNewPlace (): YAD'ların hareket sonrasında yeni konumlarının kaydedildiği ve komşu YAD'ların bilgilendirildiği metottur.

GB -saveField(): Gözetlenen bölgenin anlık durumunu kaydeder. YAD'ların tüm bilgilerinin saklanması sağlayan fonksiyondur.

GB -loadField(): Önceden kaydedilen bir durumun gözetlenen bölgede tekrar oluşturulmasını sağlar.

GB –createKernels(): WNE ve Energy-Aware WNE algoritmasında kullanılan pencerelerin oluşturulduğu metottur.

YAD’ların davranışlarını gerçekleştiren metotlar şu şekildedir;

YAD – sensorNode(): Kullanıcıdan alınan ve/veya tanımlı temel özellikler (algılama yarıçapı, görüş açısı, çalışma yönü, vb.) kullanılarak yeni YAD’lar üretilir. YAD’ların id ve pozisyon bilgilerinin atamasını yapan metottur.

YAD - minMaxXY() : Görüş alanı belirlemek için yapılan tarama alanını daraltmak için YAD’ların görebileceği en uç noktalar arasından en küçük ve en büyük x, y değerlerini belirler.

YAD - setView() : YAD’ların görebileceği en uç noktaların açısı, x ve y koordinatlarını belirler.

YAD – setCoveredArea() : Bu metot kullanılarak, ilgili YAD’ın görüş alanı ve kapsanan bölgeler işaretlenir.

YAD – overlapTest() : Komşu YAD’lardan gelen bilgiye göre örtüşen noktaları belirleyen metottur.

YAD - borderTest() : Bir YAD’ın haritasında, gözetlenen bölgenin sınırlarını aşan noktalar belirlenir. Bu noktalar, örtüşme noktaları gibi YAD’ın kapsamaması gereken noktalar olarak işaretlenir.

YAD-createNeighborSensor() : YAD’ların komşularının özelliklerini saklayan fonksiyondur.

YAD - informNeighbors() : Yeni çalışma yönünü hesaplayan her YAD bilgisini komşuları ile paylaşır. Bu işlem, informNeighbors metodu tarafından gerçekleştirilir.

YAD - calculateAFUP() : Çekim merkezi algoritmasının uygulandığı metottur. Eşik değerini aşan YAD’ların yeni çalışma yönünün belirlendiği metottur.

YAD - calculateWeightedAFUP() : Ağırlıklı çekim merkezi algoritmasının uygulandığı metottur. Eşik değerini aşan YAD’ların yeni çalışma yönünün belirlendiği metottur.

YAD - initializeMap() : Her YAD yeni çalışma yönü belirlendikten sonra kendi haritasını sıfırlar.

YAD – targetInTest() : Alanda yer alan bir noktanın bir YAD'ın görüş alanı içerisinde yer alıp almadığı testinin yapıldığı fonksiyondur.

YAD – isTargetVisible() : Alanda yer alan bir noktanın ilgili YAD'ın görüş açısı ile görüş açıklığına sahip olup olmadığını belirleyen metottur. Bir başka deyişle, herhangi bir engel nedeniyle ilgili noktanın kapsanıp kapsanmadığını belirten metottur. Engelli araziler için tasarlanmıştır.

YAD – markMobileNodes(): Bir YAD'ın hareket edip etmemesi gerektiğine karar veren metottur.

YAD – maxInCostMap() : Hareket yeteneği kullanılırken gidilebilecek noktalar arasından en verimli noktanın bulunmasını sağlar.

A-3 Sistem Parametreleri

Bu bölümde bahsedilen parametreler kullanıcı tarafından belirlenir. Simülasyon ortamı farklı senaryoların denenebilmesi mümkün olduğunca parametrik tasarlanmıştır.

GB - option : Dağıtım parametresidir. “0” seçeneği rasgele dağılımı ifade eder. “1” ise dosyada kayıtlı bir senaryodaki dağılımı uygular.

GB – w : YAD'ların atılacağı alanın enini gösterir.

GB – h : YAD'ların atılacağı alanın boyunu gösterir.

GB - numberOfNodes : Ortama dağıtılacak YAD sayısını gösterir.

GB - forceType : Dönme yeteneğinden faydalanan algoritmanın seçimi için kullanılır. “1”, AFUP algoritmasını, “2” ise W-AFUP algoritmasını temsil eder.

GB - iterationNumber : İterasyon sayısını gösterir. Belirli bir iterasyon sonunda karar veremeyen YAD'ların algoritmayı sonlandırması için kullanılır.

GB - forceThreshold : Eşik değeri testinde kullanılan eşik değeridir (T_H).

GB - mobilityThreshold : Bir YAD'ın hareket edip etmeyeceğini belirleyen eşik değeridir (T_H).

GB - WNEoption : Hareket yeteneğinden faydalanan algoritmanın seçimi için kullanılır. “1”, WNE algoritmasını, “2” ise Energy-aware WNE algoritmasını temsil eder.

YAD – r : YAD’ların algılama yarıçapıdır. Tüm YAD’ların aynı değere sahip olduğu kabul edilir.

YAD – α : YAD’ların görüş açısını ifade etmektedir. 1° ile 360° arasındaki değişkenlik gösterir.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : M. Amaç GÜVENSAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 17.06.1978 / İstanbul
Yabancı Dili : Almanca, İngilizce
E-posta : amac@ce.yildiz.edu.tr; amac@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Bilgisayar Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2006
Lisans	Bilgisayar Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2002
Lise	Fen Bilimleri	İstanbul Erkek Lisesi	1997

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2003 -	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2009-2010	State University of New York, Buffalo	Araştırmacı (Doktora)
2009	TÜBİTAK	Danışman
2002-2003	Yıldız Teknik Üniversitesi / Bilgi İşlem	Uzman
2002	ETC-Base Yazılım	Stajyer
2002	Koç Sistem	Stajyer
2001	Microsoft	Stajyer
2000	NETAŞ	Stajyer

YAYINLARI

Makale

1. (2011) Guvensan M. A. ve Yavuz A. G., "*On Coverage Issues in Directional Sensor Networks: A Survey*", **Elsevier Ad Hoc Networks 9(7):1238-1255**, 2011

Bildiri

1. (2011) Guvensan M. A., Yavuz A. G., Taysi Z. C., Karsligil E. ve Celik E., "*Image Processing Capabilities of ARM-based Micro-controllers for Visual Sensor Networks*", **9th IEEE/IFIP Intl. Conf. on Embedded and Ubiquitous Computing (IEEE/IFIP EUC 2011)**, Melbourne, Australia, 24-26 October, 2011

2. (2011) Guvensan M. A. ve Yavuz A. G., *A New Coverage Improvement Algorithm based on Motility Capability of Directional Sensor Nodes*, **10th Intl. Conf. Ad Hoc Networks and Wireless (AdHoc-Now 2011)**, Lecture Notes In Computer Science (Springer-Verlag), Paderborn, Germany, 18-20 July, 2011
3. (2011) Guvensan M. A. ve Yavuz A. G., *A Hybrid Solution For Coverage Enhancement in Directional Sensor Networks*, **7th Intl. Conf. On Wireless and Mobile Communications (ICWMC 2011)**, Luxembourg, 19-24 June, 2011
4. (2010) Taysi Z. C., Guvensan M. A. ve Melodia T., *"TinyEARS: Spying On House Appliances with Audio Sensors"*, **2nd Intl. ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy Efficiency in Buildings (BUILDSYS 2010)**, Zurich, Switzerland, November, 2010 (in conjunction with SENSYS)
5. (2010) Guvensan M. A. ve Taysi Z. C., *"Environmental Sound Classification for House Appliances"*, **Proc. of the 18th IEEE (National) Conference on Signal Processing and Communications Applications (SIU 2010)**, Diyarbakir, Turkey, April, 2010
6. (2009) Taysi Z.C., Guvensan M. A., Yavuz A. G., *"Multiple Base Station Placement with k-Means Local+"*, **Proc. of the 17th IEEE (National) Conference on Signal Processing and Communications Applications (SIU 2009)**, Antalya, Turkey, April, 2009
7. (2007) Guvensan M. A., Taysi Z. C. ve Yavuz A. G., *"Multiple Base Station Positioning for Sensor Application Using Continuous Data Delivery Model with the New Heuristic k-Means Local+ Algorithm"*, **WSEAS Intl. European Computing Conference (ECC 2007)**, Lecture Notes In Electrical Engineering (Springer Verlag), Athens, Greece, September, 2007

8. (2007) Guvensan M. A. ve Haberdar H., "*Detection and Tracking of Face and Facial Features for Recognition of Turkish Sign Language*", **Proc. of the 15th IEEE (National) Conference on Signal Processing and Communications Applications (SIU 2007)**, Eskisehir, Turkey, June, 2007
9. (2007) Aran O., Ari I., Guvensan M. A., Haberdar H., Kurt Z., Turkmen I., Uyar A. ve Akarun L., "*A Database of Non-Manual Signs in Turkish Sign Language*", **Proc. of the 15th IEEE (National) Conference on Signal Processing and Communications Applications (SIU 2007)**, Eskisehir, Turkey, June,
10. (2006) Guvensan M. A. ve Yavuz A. G., "*Protocol-Independent Light Secure Communication*", **ICETE Intl. Conf. on Security and Cryptography (SECRYPT 2006)**, Setubal, Portugal, August, 2006

Proje

1. (2011) Guvensan M. A. ve Yavuz A. G., "Yönlü Algılayıcı Ağlarda Kademeli Kapsama Alanı İyileştirme", Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 2011-04-01-DOP03
2. (2011) Guvensan M. A., Yavuz A. G., Tayşi Z. C. ve Celik E., "Çoklu Ortam Algılayıcı Düğüm Tasarımı ve Gerçeklenmesi", Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 2010-04-01-KAP01