

ÖZET

ROTORLARIN MİKRO-DOPPLER YAYILIMINA DAYANARAK UYARLAMALI İLETİM TASARIMINA YÖNELİK BİR SİSTEM VE YÖNTEM

5

Buluş, rotorlar gibi dönme hareketi yapan cihazlara ilişkin senaryolarda mikro-Doppler yayılımının periyodik zamanla değişen örüntülerini taklit eden bir çerçeveyi dinamik olarak iletmek için ayarlanmış uyarlamalı iletim tasarımına yönelik bir sistem (1) ve yöntem ile ilgilidir.

İSTEMLER

1. En az bir alıcı (1.2), en az iki anten (1.3), verici (1.1) ile alıcı (1.2) arasında en az bir iki yönlü iletişim bağlantısı (1.4) içeren, mikro-Doppler yayılımının periyodik zamanla değişen örüntülerini taklit eden bir çerçeveyi dinamik olarak iletmek için ayarlanmış uyarlamalı iletim tasarımına yönelik bir sistem (1) olup, aşağıdakileri içermesi ile karakterize edilmektedir:

verici (1.1) ile alıcı (1.2) arasında kablolu veya kablosuz bir bağlantı olan ve dönme hareketi yapan bir cihaz tarafından üretilen bir mikro-Doppler yayılım örüntüsünün, cihaz alıcı (1.2) tarafında veya ortamda bulunuyorsa, alıcıdan (1.2) vericiye (1.1) iletildiği en az bir mikro-Doppler yayılım örüntüsü geri bildirim mekanizması (1.5), ve

cihaz verici (1.1) tarafında bulunuyorsa vericiye (1.1) örüntüyü ileten mikro-Doppler yayılım örüntüsü geri bildirim mekanizmasına (1.5) ihtiyaç duymadan mikro-Doppler yayılım örüntüsü hakkında önceden bilgi sahibi olan, mikro-Doppler yayılım örüntüsüne göre nümeroloji veya dalga formu veya kodlama/modülasyon planını seçen, nümeroloji seçimi için; tüm çerçeve süresini T , N OFDM sembol süresine T_N bölen, her bir sembolü kendi maksimum mikro-Doppler yayılımına göre ayrı ayrı tasarlayan, $f_{Dmaks1} \neq f_{Dmaks2}$ olduğu için, daha sonra sembolde uygulanan nümeroloji $O_1 \neq$

sembol O_2 , OFDM sembollerini $O_1^1, O_2^2 \dots O_N^m$ olarak uyarlayan, burada O_N^m , N -inci OFDM sembolünü nümeroloji m ($m = 1, 2 \dots M$) ile temsil etmektedir, CP'yi her bir sembol için $CP_1^1, CP_2^2 \dots CP_N^m$ olarak kendi benzersiz mikro-Doppler özelliklerine uyum sağlayacak şekilde uyarlayan, burada CP_N^m , N -inci OFDM sembolünü CP nümeroloji m ile temsil etmektedir), veri hızlarını en üst düzeye çıkarmak amacıyla düşük Doppler koşulları için 15 kHz, 30 kHz veya 60 kHz alt taşıyıcı aralığı gibi daha küçük alt taşıyıcı aralıklarını ve

sağlamlığı korumak amacıyla ise yüksek Doppler ortamları için 120 kHz veya 240 kHz alt taşıyıcı aralığı gibi daha büyük aralıkları seçen, dalga formu seçimi için; belirli bir sembol için maksimum Doppler yayılımı f_{Dmaks} önceden tanımlanmış bir maksimum Doppler yayılımı eşiğini $f_{Dmaksıncı}$, aşarsa, yani $f_{Dmaksıncı} < f_{Dmaksn}$ ise, dalga formunu W seçen, burada $n = 1, 2 \dots N$, N toplam sembol içindeki n -inci semboldür, sembol için maksimum Doppler yayılımı eşik altında kalırsa, yani

$f_{Dmaksıncı} > f_{Dmaks,n}$ ise, iletim için alternatif bir dalga formunu V koruyan, eşikten daha az mikro-Doppler yayılımını ifade eden düşük mikro-Doppler yayılımı için çok taşıyıcılı dalga formlarını uygulayan, eşikten daha fazla mikro-Doppler yayılımını

ifade eden yüksek mikro-Doppler yayılımı koşulları için geniş alt taşıyıcı aralıklı OFDM, Filtre Bankası Çoklu Taşıyıcısı (FBMC) veya Dikey Zaman-Frekans Uzayı (OTFS) uygulayan, kodlama/modülasyon planı seçimi için; C_1^1 , C_2^2 , C_N^k olarak önceden tanımlanmış $k = 1, 2, \dots, K$ kümesinden her bir sembol için en uygun kodlama/modülasyon planını seçen, burada C_N^k , N -inci sembol için seçilen k -inci kodlama/modülasyon planını temsil etmektedir, düşük Doppler yayılımı senaryolarında önceden belirlenmiş bir hata düzeltme yöntemi ile desteklenen yüksek modülasyon sırası planlarını uygulayan, yüksek Doppler yayılımı ortamlarında önceden belirlenmiş bir hata düzeltme tekniği ile birlikte düşük sıralı modülasyon planlarını kullanan; tasarlanan uyarlamalı çerçeve yapısını alıcıya (1.2) antenler (1.3) aracılığıyla iki yönlü iletişim bağlantısı (1.4) üzerinden gönderen en az bir verici (1.1).

2. Kodlama/modülasyon planı seçimi için düşük Doppler yayılımı senaryolarında QPSK veya QAM; yüksek Doppler yayılımı senaryolarında ise BPSK veya azaltılmış küme QPSK seçen vericiyi (1.1) içermesi ile karakterize edilen, İstem 1'e göre sistem (1).

3. Mikro-Doppler yayılımının periyodik zamanla değişen örüntülerini taklit eden bir çerçeveyi dinamik olarak iletmek için ayarlanmış uyarlamalı iletim tasarımına yönelik bir yöntem olup, mikro-Doppler yayılım örüntüsünün elde edilmesi adımını içermektedir:

- Dönme hareketi yapan ve mikro-Doppler yayılım örüntüsü oluşturan bir cihaz (rotor vb. gibi) verici (1.1) tarafında bulunuyorsa, cihazın bulunduğu verici (1.1), mikro-Doppler etkisine neden olan dönme hareketi özelliklerinden türetilen mikro-Doppler yayılım örüntüsü hakkında önceden bilgi sahibi olacaktır (Durum 1) veya
- Cihaz alıcı (1.2) tarafında bulunmaktadır (Durum 2) ve bir mikro-Doppler yayılım örüntüsü oluşturmaktadır veya
- Cihaz ortamda bulunmaktadır (Durum 3) ve bir mikro-Doppler yayılım örüntüsü oluşturmaktadır;

yöntem aşağıdaki adımları içermesi ile karakterize edilmektedir:

- Mikro-Doppler yayılım örüntüsünün iletilmesi:

- Durum 1’de, verici (1.1) halihazırda mikro-Doppler yayılım örüntüsüne sahiptir,
 - Durum 2’de, cihaz mikro-Doppler yayılım örüntüsü nedeniyle benzersiz bir mikro-Doppler yayılım örüntüsü üretmektedir ve bu mikro-Doppler yayılım örüntüsü geri bildirim mekanizması (1.5) aracılığıyla alıcıdan (1.2) vericiye (1.1) iletilmektedir
 - Durum 3’te, mikro-Doppler yayılım örüntüsüne sahip cihazdan gelen bir sinyal alıcıya (1.2) gönderilmektedir ve alıcı (1.2) bunu mikro-Doppler yayılım örüntüsü geri bildirim mekanizması (1.5) aracılığıyla vericiye (1.1) iletmektedir
- Her üç durumda da verici (1.1) farklı sembol süreleri boyunca mikro-Doppler örüntüsü ile senkronize olmak üzere bir çerçeve tasarlamaktadır ve bu çerçeveyi antenler (1.3) aracılığıyla iki yönlü iletişim bağlantısı (1.4) üzerinden ileterek alıcı (1.2) ile iletişim kurmaktadır,
- Nümeroloji veya Dalga formu veya Kodlama/Modülasyon planı gibi iletim parametrelerinin ve uyarlamalı çerçeve yapısı tasarımının verici (1.1) tarafından seçilmesi:
- Nümeroloji seçimi: Tüm çerçeve süresi T , N sembol süresine T_N bölünmektedir. Tüm çerçeve için sabit bir parametre uygulamak yerine, her bir sembol verici (1.1) tarafından kendi maksimum mikro-Doppler yayılımına göre ayrı ayrı tasarlanmaktadır, yani $f_{Dmaks1} \neq f_{Dmaks2}$ olduğu için, daha sonra sembolde uygulanan nümeroloji $O_1 \neq$ sembol O_2 ’dir. OFDM sembolleri $O_1^1, O_2^2 \dots O_N^m$ olarak uyarlanmaktadır, burada O_N^m , N -inci OFDM sembolünü nümeroloji m ($m = 1, 2 \dots M$) ile temsil etmektedir. CP ayrıca her bir sembol için $CP_1^1, CP_2^2 \dots CP_N^m$ olarak kendi benzersiz mikro-Doppler özelliklerine uyum sağlayacak şekilde uyarlanmaktadır, burada CP_N^m , N -inci OFDM sembolünü CP nümeroloji m ile temsil etmektedir. Verici (1.1), veri hızlarını en üst düzeye çıkarmak amacıyla düşük Doppler koşulları için 15 kHz, 30 kHz veya 60 kHz alt taşıyıcı aralığı gibi daha küçük alt taşıyıcı aralıklarını ve sağlamlığı korumak amacıyla yüksek Doppler ortamları için 120 kHz veya 240 kHz alt taşıyıcı aralığı gibi daha büyük aralıklarını seçmektedir

veya

- Dalga formu seçimi: Belirli bir sembol için maksimum Doppler yayılımı f_{Dmaks} önceden tanımlanmış bir maksimum Doppler yayılımı eşiğini $f_{Dmaksıncı}$ aşarsa, yani $f_{Dmaksıncı} < f_{Dmaks,n}$ ise, verici (1.1) tarafından dalga formu W seçilecektir, burada $n = 1,2,...,N$, N toplam sembol içindeki n -inci semboldür. Dalga formu W parametreleri, belirli bir sembolün maksimum mikro-Doppler yayılım özellikleriyle uyumlu olacak şekilde özel olarak tanımlanacak, böylece yeni koşullar altında optimum performans sağlanacaktır. Tersine, sembol için maksimum Doppler yayılımı eşik altında kalırsa, yani $f_{Dmaksıncı} > f_{Dmaks,n}$ ise, iletim için alternatif bir dalga formu V verici (1.1) tarafından korunacaktır. Eşikten daha az mikro-Doppler yayılımını ifade eden düşük mikro-Doppler yayılımı için verici (1.1) tarafından çok taşıyıcılı dalga formları uygulanmaktadır. Öte yandan, eşikten daha fazla mikro-Doppler yayılımını ifade eden yüksek mikro-Doppler yayılımı koşulları için geniş alt taşıyıcı aralığına sahip OFDM, Filtre Bankası Çoklu Taşıyıcısı (FBMC) veya Dikey Zaman-Frekans Uzayı (OTFS) verici (1.1) tarafından uygulanmaktadır

veya

- Kodlama/Modülasyon planı seçimi: Maksimum mikro-Doppler yayılımı f_{Dmaks} farklı semboller arasında değiştiği için, her bir sembol kendi maksimum mikro-Doppler yayılımına göre ayarlanmış bir kodlama ve modülasyon planı uygulayacaktır, yani $f_{Dmaks,1} \neq f_{Dmaks,2}$, daha sonra sembolde uygulanan plan $C_1 \neq$ sembol C_2 . Verici (1.1), C_1^1, C_2^2, C_N^k olarak önceden tanımlanmış $k = 1,2,...,K$ kümesinden her bir sembol için en uygun kodlama/modülasyon planını dinamik olarak seçmektedir, burada C_N^k , N -inci sembol için seçilen k -inci kodlama/modülasyon planını temsil etmektedir. Düşük Doppler yayılımı senaryolarında, önceden belirlenmiş bir hata düzeltme yöntemi ile desteklenen güvenilir iletişim ve daha yüksek veri hızları elde etmek için verici (1.1) tarafından yüksek modülasyon sırası planları uygulanmaktadır. Yüksek Doppler yayılımı ortamlarında, önceden belirlenmiş bir hata düzeltme tekniği ile birlikte verici (1.1) tarafından düşük sıralı modülasyon planları kullanılmaktadır,

- Verici (1.1) tarafından tasarlanan uyarlamalı çerçeve yapısı, antenler (1.3) aracılığıyla iki yönlü iletişim bağlantısı (1.4) üzerinden alıcıya (1.2) gönderilmektedir.

- 5 4. Vericinin (1.1) düşük doppler senaryoları için Dörtlü Faz Kaydırmalı Anahtarlama (QPSK) veya 16-Dörtlü Genlik Modülasyonu (QAM); yüksek doppler senaryoları için ise BPSK veya azaltılmış küme QPSK seçtiği Kodlama/Modülasyon planı seçim adımını içermesi ile karakterize edilen, İstem 3'e göre yöntem.

TARİFNAME

ROTORLARIN MİKRO-DOPPLER YAYILIMINA DAYANARAK UYARLAMALI İLETİM TASARIMINA YÖNELİK BİR SİSTEM VE YÖNTEM

5

TEKNİK ALAN

Buluş, rotorlar gibi dönme hareketi yapan cihazlara ilişkin senaryolarda mikro-Doppler yayılımının periyodik zamanla değişen örüntülerini taklit eden bir çerçeveyi dinamik olarak
10 iletmek için ayarlanmış uyarlamalı iletim tasarımına yönelik bir sistem ve yöntem ile ilgilidir.

ÖNCEKİ TEKNİK

Genellikle mikro-Doppler imzaları olarak adlandırılan mikro-Doppler yayılım etkisi,
15 araştırmacılar tarafından mikro hareketler sergileyen hedefleri tanımlamak için kapsamlı bir şekilde kullanılmıştır. Bu imzaların, savunma ve ticari alanları kapsayan uygulamalarla radar tabanlı hedef tanımda değerli araçlar olduğu kanıtlanmıştır.

Dönen kanatlar, salınım mekanizmaları ve hatta titreşen yüzeyler gibi belirli hedef
20 bileşenlerinin göreceli hareketinden kaynaklanan söz konusu mikro-Doppler yayılım etkisi, benzersiz frekans modülasyonları üretmektedir. Bu modülasyonlar hedefin fiziksel özellikleri, hareket dinamikleri ve yapısal detayları hakkında kritik bilgiler taşımaktadır. Bu etkileri analiz etme ve yorumlama becerisi, bu tür ince taneli dinamikleri anlamının çok önemli olduğu hem radar hem de iletişim sistemlerinde derin etkilere sahiptir.

25

Kanatlı bir rotor için genel bir şematik model Şekil 1’de gösterilmiştir. Model B_K , olarak
gösterilen K kanattan oluşmaktadır ve her bir kanat L uzunluğuna sahiptir ve f_r frekansında
dönmektedir. Dönen herhangi bir cihazın dönme elemanları farklı yapısal özellikler, boyutlar
veya dönme frekansları sergileyebilmektedir ve bu da çeşitli periyodik mikro hareketlere
30 neden olmaktadır. Bu hareketler iletilen veya yansıtılan sinyali modüle ederek mikro-Doppler yayılım etkisine yol açan farklı frekans kaymaları üretmektedir. Mikro-Doppler imzaları olarak adlandırılan bu frekans kaymaları, cihazın dönme hızı, yapısal özellikleri ve dinamik davranışı dahil olmak üzere hareket özellikleri hakkında değerli bilgiler sağlamaktadır.

Buna ek olarak, mikro-Doppler yayılım etkisi, hedef tanıma ve sınıflandırma için benzersiz fırsatlar sunarak çeşitli alanlarda önemli bir potansiyel göstermiştir. İnsanlar, araçlar ve hayvanlar gibi yerde hareket eden nesneler için mikro-Doppler imzaları çevre güvenliği, akıllı ulaşım sistemleri, gözetim ve insan yürüyüş analizi gibi uygulamalarda etkili bir şekilde kullanılmıştır [1]. Benzer şekilde, hava hedefleri bağlamında, mikro-Doppler etkisi, sabit kanatlı uçaklardaki pervanelerin dönüşü, jet motorlarındaki fanlar ve türbinler, helikopter kanatları ve dron rotorları gibi mikro hareket dinamiklerinin tanımlanmasında etkilidir [2]. Uzay hedeflerinde de ayırt edici mikro-Doppler imzaları gözlemlenmekte ve son çalışmalarda gösterildiği gibi savaş başlığı ve tuzak kategorilerine sınıflandırmaya olanak sağlamaktadır [3]. Ayrıca mikro-Doppler tabanlı tanıma, havadan darbe-Doppler radar sistemlerinde rüzgar türbini karmaşası gibi zorlukların üstesinden gelmede yararlı olduğu kanıtlanmıştır [4]. Geleneksel radar uygulamalarının ötesinde, mikro-Doppler özellikleri ev otomasyonunda önemli bir rol oynamakta, erişim kontrolü ve alarmlar dahil olmak üzere güvenlik sistemlerinin yanı sıra hareket tanıma ve kontrolü için yenilikçi çözümler sunmaktadır [5]. Ayrıca insan kalp atışları ve nefes almanın neden olduğu mikro hareketler, yaşamsal belirtilerin algılanmasını sağlayan benzersiz imzalar üretmektedir [6].

Kablosuz iletişimde mikro-Doppler yayılımı, hareket eden veya dönen nesneler yansıyan sinyal yollarında sürekli değişiklikler yarattığından dinamik çok yönlü sönümlenmeye katkıda bulunmaktadır. Bu da alınan sinyalin kalitesini ve güvenilirliğini düşüren faz ve frekans bozulmalarına neden olmaktadır. Statik Doppler kaymalarının aksine, mikro-Doppler yayılımı iletişim kanalına hızlı, doğrusal olmayan değişiklikler uygulamaktadır. Bu değişimler, kanalın dinamik davranışını izlemek ve telafi etmek için daha sofistike algoritmalar gerektiren kanal durumu tahminini zorlaştırmaktadır. Dönme dinamikleri frekans bileşenlerinin üst üste binmesine neden olarak istenen ve istenmeyen sinyallerin ayrımını azaltan girişimlere yol açabilmektedir. Bu girişim iletilen sinyalleri bozarak geleneksel eşitleme ve demodülasyon tekniklerini daha az etkili hale getirebilmektedir. Beşinci nesil (5G), nesnelerin interneti (IoT) ve araçtan her şeye (V2X) sistemleri gibi gelişmiş iletişim senaryolarında, mikro-Doppler yayılım etkisi iletişim ve algılamanın bir arada bulunmasını zorlaştırmaktadır. Dinamik etkiler, algılama doğruluğuna müdahale ederken aynı zamanda iletişim bağlantılarını bozarak ek bir zorluk yaratabilmektedir.

Mikro-Doppler etkisi taşıyıcının frekansından f_c önemli ölçüde etkilenmektedir. Ayrıca dönüş hızı (f_r), kanat sayısı ve kanat uzunluğu (L) dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır. Tüm

bu bağımlılıklar dikkate alındığında, maksimum Doppler matematiksel olarak $f_{Dmaks} = [(4 * \pi * L * f_r * f_c)/c] * \cos\beta$ şeklinde ifade edilebilmektedir; burada c ışık hızıdır ve β Şekil 2'deki genel geometrik gösterimde gösterildiği gibi yükseklik açısıdır.

5 Geleneksel iletişim sistemlerinde, tasarım genellikle kanalın maksimum Doppler yayılımına dayanmaktadır ve modülasyon, kodlama planları, nümeroloji ve dalga formu gibi parametreler en kötü durum koşullarına uyacak şekilde seçilmektedir. Bu yaklaşım belirli bir düzeyde sağlamlık sağlarken, Doppler yayılımının zamanla değişen doğasını hesaba katmamaktadır, verimsizliklere ve optimum olmayan performansa yol açmaktadır.

10

Şekil 3, bir rotor tarafından üretilen mikro-Doppler etkisinin zaman-frekans gösterimini göstermektedir. $f_c = 10 \text{ GHz}$ çalışma frekansında, tek bir kanadın mikro-Doppler etkisi Şekil 3-a'da gösterilmektedir. Spektrogramdan, zaman-frekans alanındaki mikro-Doppler'in zamanla değişen bir sinyal sergilediği gözlemlenebilmektedir. Sinüzoidal örüntü, frekans 15 değişiminin periyodik bir davranış izlediğini doğrulamaktadır. Sonuç olarak, mikro-Doppler yayılımının periyodik, zamanla değişen bir etki olduğu sonucuna varılabilmektedir.

Değişken operasyonel koşullar altında önerilen yöntemin uygulanabilirliğini ve doğruluğunu daha fazla doğrulamak için, $f_c = 120 \text{ GHz}$ frekansında çalışan çok kanatlı bir rotor 20 kullanılarak kontrollü bir laboratuvar ortamında deneysel ölçümler yapılmıştır (Şekil 3-b). Şekil 3-b, farklı frekans bileşenlerinin zaman içinde nasıl geliştiğini gösteren mikro-Doppler etkisinin ayrıntılı bir görselleştirmesini sağlamaktadır. Daha yüksek çalışma frekansları ve birden fazla dönen kanattan gelen katkılar için, mikro-Doppler yayılımı birden fazla periyodik bileşenin üst üste binmesi nedeniyle daha belirgin hale gelmektedir. Spektrogramdan, Doppler 25 yayılımının Şekil 3-b'de gösterildiği gibi farklı T periyotlarıyla da olsa zaman içinde periyodik olarak değiştiği gözlemlenebilmektedir. Bu gözlem, zamanla değişen mikro-Doppler yayılımında belirgin ve benzersiz bir örüntünün varlığını doğrulamaktadır.

Mikro-Doppler yayılım etkisi, radar tabanlı uygulamalar için çeşitli boyutlarda kapsamlı bir 30 şekilde incelenmiş ve kullanılmış olsa da, iletişim sistemlerindeki etkisini ve potansiyelini ele alan kapsamlı araştırmalarda önemli bir boşluk bulunmaktadır. Bu boşluk, modern kablesiz iletişim teknolojileri bağlamında mikro-Doppler yayılım etkisini analiz etmek ve kullanmak için yenilikçi yaklaşımlara duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.

WO2023220912A1 numaralı patent dokümanında kablosuz iletişim (örneğin radyo frekansı (RF) algılama) kullanılarak hedeflerin veya nesnelerin tespit edilmesi veya tanımlanmasından bahsedilmektedir. Bu açıklamanın yönleri, mikro-Doppler imzaları kullanılarak hedef veya nesne tespiti veya tanımlaması gerçekleştirmeye yönelik sistemler ve tekniklerle ilgilidir.

5 Bununla birlikte, mikro-Doppler yayılımının zamanla değişen doğasını, yani mikro-Doppler etkisinin farklı sembollerdeki varyasyonlarını hesaba katmamaktadır, bu da hedef tespitinde veya sınıflandırmasında hatalara neden olabilmektedir. Ayrıca bu dokümanda mikro-Doppler etkisi özellikle radar tabanlı uygulamalar için kullanılmış olup, genel olarak kablosuz iletişim için çözümler sunmamaktadır.

Referanslar:

[1]. Y. Kim ve T. Moon, "Human Detection and Activity Classification Based on Micro-Doppler Signatures Using Deep Convolutional Neural Networks," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, cilt 13, no. 1, ss. 8-12, Ocak 2016.

[2]. Victor Chen, *The Micro-Doppler Effect in Radar*, Artech, 2011.

[3]. R. Nepal, vd., "Micro-Doppler radar signature identification within wind turbine clutter based on short-CPI airborne radar observations," *IET Radar, Sonar & Navigation*, cilt 9, no. 9, ss. 1268-1275, 2015.

20 [4]. A. R. Persico vd., "On Model, Algorithms, and Experiment for Micro-Doppler-Based Recognition of Ballistic Targets," in *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, cilt 53, no. 3, ss. 1088-1108, June 2017.

[5]. Y. Kim and B. Toomajian, "Hand Gesture Recognition Using Micro-Doppler Signatures with Convolutional Neural Network," *IEEE Access*, cilt 4, ss. 7125-7130, 2016.

25 [6]. R. M. Narayanan, "Earthquake survivor detection using life signals from radar micro-Doppler," Proc. 1st Int. Conf. Wireless Technol. Hum. Relief (ACWR), s. 259, 2011.

Buluş, yukarıda belirtilen tekniğin mevcut durumundaki teknik sorunlara teknik çözümler
30 getirmektedir.

BULUŞUN KISA AÇIKLAMASI

Buluşun amacı, kablosuz iletişim sistemlerinin performansını, zekasını ve sağlamlığını arttırmak için rotorlar gibi dönme hareketi sergileyen cihazlarla ilişkili mikro-Doppler yayılımının zamanla değişen örüntülerinden etkili bir şekilde yararlanan uyarlamalı bir çerçeve yapısı sunmaktır.

5

Radar literatüründeki geleneksel yaklaşımların kısıtlamalarının üstesinden gelen uyarlamalı çerçeve iletimi, mikro-Doppler'in zamanla değişen özelliklerinden yararlanarak dinamik ve karmaşık ortamlarda sağlam bir performans sunmaktadır. Bu yaklaşım, mikro-Doppler yayılım örüntüsünü, rotorların kullanıldığı senaryolarda daha akıllı ve daha verimli iletişim sistemleri için değerli bir araca dönüştürmektedir.

10

Buluş konusu yöntem ve sistem, çerçeve içindeki farklı semboller arasında gözlemlenen Doppler yayılımındaki dinamik varyasyonlardan yararlanarak yukarıda bahsedilen Doppler yayılımının zamanla değişen doğasını hesaba katma sınırlamasını ele almaktadır. Sistem, statik konfigürasyonlar uygulamak yerine, dalga formu, nümeroloji, periyodik önek, modülasyon ve kodlama planları gibi temel parametreleri her bir sembolün spesifik Doppler yayılım özelliklerine göre dinamik olarak uyarlamaktadır. Bu parametreleri zamanla değişen Doppler örüntüsü ile senkronize ederek, önerilen yaklaşım sistemin verimliliğini, esnekliğini ve uyarlanabilirliğini artırarak çeşitli ve dinamik ortamlarda sağlam iletişim performansı sağlamaktadır.

20

Sekillerin Açıklaması

Şekil 1. Kanatlı bir rotor için genel bir şematik model

25 **Şekil 2.** Kanatlı bir rotorun genel bir geometrik gösterimi

Şekil 3. (a) Bir rotor tarafından üretilen mikro-Doppler etkisinin zaman-frekans gösterimi, (b) Farklı frekans bileşenlerinin zaman içinde nasıl geliştiğini gösteren mikro-Doppler etkisinin ayrıntılı bir görselleştirmesi

Şekil 4. Buluşa yönelik sistem modelinin şematik bir görünümü

30 **Şekil 5.** (a) Önceki teknikte bir Dikey Frekans Bölmeli Çoklama (OFDM) çerçevesi için mikro-Doppler yayılım etkisi için nümeroloji seçimi, (b) Buluşta bir Dikey Frekans Bölmeli Çoklama (OFDM) çerçevesi için mikro-Doppler yayılım etkisi için nümeroloji seçimi

Şekil 6. (a) Geleneksel yöntemlerde mikro-Doppler yayılım etkisi için dalga formu seçimi, (b) Buluşta mikro-Doppler yayılım etkisi için dalga formu seçimi

Şekil 7. (a) Geleneksel yöntemlerde mikro-Doppler yayılım etkisi için Kodlama/Modülasyon planı seçimi, (b) Buluşta mikro-Doppler yayılım etkisi için Kodlama/Modülasyon planı seçimi

5 **Sekillerdeki Referansların Açıklaması:**

Buluşun daha iyi anlaşılması için şekillerde gösterilen unsurlar aşağıdaki gibi numaralandırılmıştır:

- 10 1. Sistem
 - 1.1. Verici
 - 1.2. Alıcı
 - 1.3. Anten
 - 1.4. İki yönlü iletişim bağlantısı
 - 15 1.5. Mikro-Doppler yayılım örüntüsü geri bildirim mekanizması

BULUSUN AYRINTILI AÇIKLAMASI

Buluş konusu sistem (1) en az bir verici (1.1), en az bir alıcı (1.2), en az iki anten (1.3), verici (1.1) ile alıcı (1.2) arasında en az bir iki yönlü iletişim bağlantısı (1.4) ve verici (1.1) ile alıcı (1.2) arasında kablolu veya kablosuz bir bağlantı olan en az bir mikro-Doppler yayılım örüntüsü geri bildirim mekanizması (1.5) içermektedir.

Dönme hareketi yapan ve mikro-Doppler yayılım örüntüsü oluşturan bir cihaz (rotor vb. gibi) verici (1.1) tarafında bulunuyorsa, cihazın bulunduğu verici (1.1), örüntüyü vericiye (1.1) ileten mikro-Doppler yayılım örüntüsü geri bildirim mekanizmasına (1.5) ihtiyaç duymadan mikro-Doppler etkisine neden olan dönme hareketi özelliklerinden türetilen mikro-Doppler yayılım örüntüsü hakkında önceden bilgi sahibi olacaktır (Durum 1). Ya da cihaz alıcı (1.2) tarafında bulunmaktadır ve bir mikro-Doppler yayılım örüntüsü oluşturmaktadır (Durum 2). Ya da cihaz ortamda bulunmaktadır (Durum 3). Durum 2’de, cihaz mikro hareketi nedeniyle benzersiz bir mikro-Doppler yayılım örüntüsü oluşturmaktadır ve bu örüntü mikro-Doppler yayılım örüntüsü geri bildirim mekanizması (1.5) aracılığıyla alıcıdan (1.2) vericiye (1.1) iletilmektedir. Durum 3’te, mikro-Doppler yayılım örüntüsüne sahip cihazdan gelen bir sinyal

alıcıya (1.2) gönderilmektedir ve alıcı (1.2) bunu mikro-Doppler yayılım örüntüsü geri bildirim mekanizması (1.5) aracılığıyla vericiye (1.1) iletmektedir.

5 Her üç durumda da verici (1.1) farklı sembol süreleri boyunca mikro-Doppler örüntüsü ile senkronize olmak üzere bir çerçeve tasarlamaktadır ve bu çerçeveyi antenler (1.3) aracılığıyla iki yönlü iletişim bağlantısı (1.4) üzerinden ileterek alıcı (1.2) ile iletişim kurmaktadır.

10 Her üç durumda da verici (1.1) farklı sembol süreleri boyunca mikro-Doppler örüntüsü ile senkronize olmak üzere çerçeveyi tasarlamak için mikro-Doppler yayılım örüntüsüne göre nümeroloji veya dalga formu veya kodlama/modülasyon planı seçmektedir.

Nümeroloji seçimi için: Tüm çerçeve süresi T verici (1.1) tarafından N OFDM sembol süresine T_N bölünmüştür. Tüm çerçeve için sabit bir parametre uygulamak yerine, her bir sembol verici (1.1) tarafından kendi maksimum mikro-Doppler yayılımına göre ayrı ayrı tasarlanmaktadır, yani $f_{Dmaks1} \neq f_{Dmaks2}$ olduğu için, daha sonra sembolde uygulanan nümeroloji $O_1 \neq$ sembol O_2 . Verici (1.1) OFDM sembollerini, $O_1^1, O_2^2 \dots O_N^m$ olarak uyarlamaktadır, burada O_N^m , N -inci OFDM sembolünü nümeroloji m ($m = 1, 2 \dots M$) ile temsil etmektedir. CP ayrıca her bir sembol için $CP_1^1, CP_2^2 \dots CP_N^m$ olarak kendi benzersiz mikro-Doppler özelliklerine uyum sağlayacak şekilde uyarlanmaktadır, burada CP_N^m , N -inci OFDM sembolünü CP nümeroloji m ile temsil etmektedir. Verici (1.1), veri hızlarını en üst düzeye çıkarmak amacıyla düşük Doppler koşulları için 15 kHz, 30 kHz veya 60 kHz alt taşıyıcı aralığı gibi daha küçük alt taşıyıcı aralıklarını ve sağlamlığı korumak amacıyla yüksek Doppler ortamları için 120 kHz veya 240 kHz alt taşıyıcı aralığı gibi daha büyük aralıklarını seçmektedir. Sistem (1) en uygun nümerolojiyi seçerek spektral verimliliği optimize edebilmektedir ve taşıyıcılar arası girişimi (ICI) en aza indirerek daha güvenilir veri iletimi sağlayabilmektedir. Ayrıca uyarlamalı nümeroloji seçimi sistemin (1) verim ve gecikme süresini dengelemesini sağlamaktadır. CP uzunluğunu her sembol için maksimum Doppler yayılımına uyarlayarak, sistem (1) CP'nin ne aşırı uzun (bant genişliğini boşa harcayacak) ne de çok kısa (iki yönlü iletişim bağlantısı (1.4) varyasyonlarını idare edemeyecek) olmasını sağlamaktadır. Bu dinamik ayarlama, sistemin (1) alt taşıyıcılar arasında dikeyliği korumasını sağlamaktadır ve önemli Doppler etkilerinin olduğu zorlu ortamlarda bile sinyal bütünlüğünü garanti etmektedir. Ayrıca optimize edilmiş bir CP uzunluğu ek yükü ve güç tüketimini azaltarak, özellikle hızlı hareket eden nesneleri veya dönen bileşenlere sahip cihazları içeren

senaryolarda sistemin genel verimliliğini arttırmaktadır. Her bir sembolün tasarımını kendine özgü maksimum mikro-Doppler yayılımına göre uyarlayarak, sistem (1) çerçeve boyunca zamanla değişen mikro-Doppler etkisini ele almada gelişmiş sağlamlık ve verimlilik elde etmektedir.

5

Dalga formu seçimi için: Belirli bir sembol için maksimum Doppler yayılımı f_{Dmax} önceden tanımlanmış bir maksimum Doppler yayılımı eşiğini $f_{Dmaksıncı}$ aşarsa, yani $f_{Dmax th} < f_{Dmaks n}$ ise, verici (1.1) tarafından dalga formu W seçilecektir, burada $n = 1,2...N$, N toplam sembol içindeki n -inci semboldür (Şekil 6-b). Dalga formu W

10

parametreleri, belirli bir sembolün maksimum mikro-Doppler yayılım özellikleriyle uyumlu olacak şekilde özel olarak tanımlanacak, böylece yeni koşullar altında optimum performans sağlanacaktır. Tersine, sembol için maksimum Doppler yayılımı eşiğin altında kalırsa, yani $f_{Dmaksıncı} > f_{Dmaks,n}$ ise, iletim için alternatif bir dalga formu V verici (1.1) tarafından korunacaktır. Eşikten daha az mikro-Doppler yayılımını ifade eden düşük mikro-Doppler

15

yayılımı için, stabil iki yönlü iletişim bağlantısı (1.4) koşullarını idare etme açısından verimlilik ve basitlik nedeniyle ideal olduğu için, Periyodik Önek OFDM (CP-OFDM) gibi çok taşıyıcılı dalga formları verici (1.1) tarafından uygulanmaktadır. Öte yandan, eşikten daha fazla mikro-Doppler yayılımını ifade eden yüksek mikro-Doppler yayılımı koşulları için geniş alt taşıyıcı aralığına sahip OFDM, Filtre Bankası Çoklu Taşıyıcısı (FBMC) veya Dikey

20

Zaman-Frekans Uzayı (OTFS) tarafından uygulanmaktadır. Geniş alt taşıyıcı aralıklı OFDM, yüksek Doppler kaynaklı ICI ile mücadele etmek için alt taşıyıcı aralığını arttıran modifiye bir OFDM yaklaşımıdır, FBMC gelişmiş frekans yerleştirme özelliğine sahiptir ve yüksek Doppler koşullarında ICI'yi azaltmaktadır, OTFS ise sinyalleri gecikme-Doppler alanına dönüştürerek öne çıkmakta ve araç iletişimi ve dron ağları gibi hızla değişen ortamlarda

25

olağanüstü sağlamlık sunmaktadır. Sistem, Doppler özelliklerine göre uygun dalga formunu seçerek hem düşük hem de yüksek Doppler ortamlarında güvenilir ve verimli iletişim sağlayabilmektedir.

30

Kodlama/modülasyon planı seçimi için: Maksimum mikro-Doppler yayılımı f_{Dmax} farklı semboller arasında değiştiği için, her bir sembol kendi maksimum mikro-Doppler yayılımına göre ayarlanmış bir kodlama ve modülasyon planı uygulayacaktır, yani $f_{Dmax 1} \neq f_{Dmax 2}$, daha sonra sembolde uygulanan plan $C_1 \neq$ sembol C_2 (bakınız Şekil 7-b). Verici (1.1), C_1^1, C_2^2, C_N^k olarak önceden tanımlanmış $k = 1,2...K$ kümesinden her bir sembol için en uygun

kodlama/modülasyon planını dinamik olarak seçmektedir, burada C_N^k , N -inci sembol için seçilen k -inci kodlama/modülasyon planını temsil etmektedir. İki yönlü iletişim bağlantısının (1.4) stabil kaldığı düşük Doppler yayılımı senaryolarında, güvenilir iletişim ve daha yüksek veri hızları elde etmek için verici (1.1) tarafından Dörtlü Faz Kaydırmalı Anahtarlama (QPSK) veya 16-Dörtlü Genlik Modülasyonu (QAM) gibi yüksek modülasyon sırası planları uygulanmaktadır, konvolüsyonel kodlama, turbo kodlama veya Düşük Yoğunluklu Eşlik Kontrolü (LDPC) gibi önceden belirlenmiş bir hata düzeltme yöntemi ile desteklenmektedir, tercihen $\frac{2}{3}$ veya $\frac{3}{4}$ kodlama oranları seçilebilmektedir. Hızlı ve aşırı iki yönlü iletişim bağlantısı değişimlerinin meydana geldiği yüksek Doppler yayımlı ortamlarda, verici (1.1) tarafından Reed-Solomon kodları, düşük oranlı LDPC veya kutupsal kodlar gibi önceden belirlenmiş bir hata düzeltme tekniği ile birlikte BPSK (İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama) veya azaltılmış küme QPSK (Dörtlü Faz Kaydırmalı Anahtarlama) gibi düşük dereceli modülasyon planları kullanılmaktadır ve en dinamik koşullarda bile sinyal güvenilirliği sağlanmaktadır, tercihen $\frac{1}{2}$ veya $\frac{1}{4}$ kodlama oranları uygulanabilmektedir (Mikro-Doppler yayılımı her bir sembolle birlikte değişmektedir. Bu varyasyonlar değerlendirilmektedir ve değerler Doppler yayılımının düşük mü yüksek mi olduğunu belirlemek için sıralanmakta ve kategorize edilmektedir). Bu dinamik yaklaşım, iletişim sisteminin uyarlamalı ve verimli kalmasını sağlamaktadır ve çerçeve içindeki her sembolün benzersiz mikro-Doppler özelliklerini ele alarak performansı optimize etmektedir.

Son olarak, verici (1.1) tasarlanan uyarlamalı çerçeve yapısını antenler (1.3) aracılığıyla iki yönlü iletişim bağlantısı (1.4) üzerinden alıcıya (1.2) göndermektedir.

Durum 2'de, mikro-Doppler örüntüsünü alıp analiz ederek, verici (1.1) alıcının (1.2) dönme dinamikleri hakkında ayrıntılı bilgi edinmektedir. Bu bilgiyi kullanarak, verici (1.1) çerçevesini zamanla değişen mikro-Doppler yayılımına uyacak şekilde dinamik olarak uyarlamaktadır. Bu buluştaki mikro-Doppler yayılım örüntüsü geri bildirim mekanizması ile geleneksel sistemler arasındaki temel fark, sistemin (1) zamanla değişen Doppler yayılımına nasıl uyum sağladığında yatmaktadır. Geleneksel yöntemlerde, iletişim sistemi iki yönlü iletişim bağlantısının maksimum Doppler yayılımı tarafından belirlenen statik bir tasarıma dayalı olarak çalışır. Bu da modülasyon, kodlama planları, dalga formu ve nümeroloji gibi sabit parametrelerin çerçeve boyunca aynı şekilde uygulanmasına neden olmaktadır. Bu, en kötü durum Doppler koşulları için güvenilirlik sağlarken, farklı semboller arasında Doppler yayılımındaki varyasyonları hesaba katmamaktadır, verimsizliklere ve optimum olmayan

kaynak kullanımına yol açmaktadır. Buna karşın, önerilen mikro-Doppler yayılım örüntüsü geri bildirim mekanizması (1.5) her sembol için Doppler yayılımını dinamik olarak analiz etmektedir ve vericiye (1.1) gerçek zamanlı geri bildirim sağlamaktadır. Bu geri bildirim, vericinin (1.1) modülasyon, kodlama planları, dalga formu, nümeroloji ve periyodik önek gibi temel iletişim parametrelerini her bir sembolün spesifik Doppler özelliklerine göre uyarlamasını sağlamaktadır. Mikro-Doppler yayılımının zamanla değişen doğasından yararlanan söz konusu sistem (1) ve yöntem, her bir sembolün kendine özgü Doppler ortamını idare etmek için en uygun şekilde konfigüre edilmesini sağlamaktadır. Bu dinamik, sembolen sembole adaptasyon sadece spektral ve enerji verimliliğini arttırmakla kalmamaktadır, aynı zamanda son derece dinamik ortamlarda sistem sağlamlığını ve güvenilirliğini de önemli ölçüde geliştirmektedir.

Yöntem aşağıdaki adımları içermektedir:

- 15 - Mikro-Doppler yayılım örüntüsünün elde edilmesi:
 - 20 ○ Dönme hareketi yapan ve mikro-Doppler yayılım örüntüsü oluşturan bir cihaz (rotor vb. gibi) verici (1.1) tarafında bulunuyorsa, cihazın bulunduğu verici (1.1), mikro-Doppler etkisine neden olan dönme hareketi özelliklerinden türetilen mikro-Doppler yayılım örüntüsü hakkında önceden bilgi sahibi olacaktır (Durum 1) veya
 - Cihaz alıcı (1.2) tarafında bulunmaktadır (Durum 2) ve bir mikro-Doppler yayılım örüntüsü oluşturmaktadır veya
 - Cihaz ortamda bulunmaktadır (Durum 3) ve bir mikro-Doppler yayılım örüntüsü oluşturmaktadır;
- 25 - Mikro-Doppler yayılım örüntüsünün iletilmesi:
 - 30 ○ Durum 1’de, verici (1.1) halihazırda mikro-Doppler yayılım örüntüsüne sahiptir,
 - Durum 2’de, cihaz mikro-Doppler yayılım örüntüsü geri bildirim mekanizması (1.5) aracılığıyla alıcıdan (1.2) vericiye (1.1) iletilen, kendi mikro hareketi nedeniyle benzersiz bir mikro-Doppler yayılım örüntüsü üretmektedir ve

- Durum 3'te, mikro-Doppler yayılım örüntüsüne sahip cihazdan gelen bir sinyal alıcıya (1.2) gönderilmektedir ve alıcı (1.2) bunu mikro-Doppler yayılım örüntüsü geri bildirim mekanizması (1.5) aracılığıyla vericiye (1.1) iletmektedir

5

- Her üç durumda da verici (1.1) farklı sembol süreleri boyunca mikro-Doppler örüntüsü ile senkronize olmak üzere bir çerçeve tasarlamaktadır ve bu çerçeveyi antenler (1.3) aracılığıyla iki yönlü iletişim bağlantısı (1.4) üzerinden ileterek alıcı (1.2) ile iletişim kurmaktadır,
- Nümeroloji veya Dalga formu veya Kodlama/Modülasyon planı gibi iletim parametrelerinin ve uyarlamalı çerçeve yapısı tasarımının (1.1) verici tarafından seçilmesi:

10

- Nümeroloji seçimi: Tüm çerçeve süresi T , N sembol süresine T_N bölünmüştür.

15

Tüm çerçeve için sabit bir parametre uygulamak yerine, her bir sembol verici (1.1) tarafından kendi maksimum mikro-Doppler yayılımına göre ayrı ayrı tasarlanmaktadır, yani $f_{Dmaks1} \neq f_{Dmaks2}$ olduğu için, daha sonra sembolde uygulanan nümeroloji $O_1 \neq$ sembol O_2 . OFDM sembolleri O_1^1 , $O_2^2 \dots O_N^m$ olarak uyarlanmaktadır, burada O_N^m , N -inci OFDM sembolünü

20

nümeroloji m ($m = 1, 2, \dots, M$) ile temsil etmektedir. CP ayrıca her bir sembol için $CP_1^1, CP_2^2 \dots CP_N^m$ olarak kendi benzersiz mikro-Doppler özelliklerine uyum sağlayacak şekilde uyarlanmaktadır, burada CP_N^m , N -inci OFDM sembolünü CP nümeroloji m ile temsil etmektedir. Verici (1.1), veri hızlarını en üst düzeye çıkarmak amacıyla düşük Doppler koşulları için 15 kHz, 30 kHz veya 60 kHz alt taşıyıcı aralığı gibi daha küçük alt taşıyıcı aralıklarını ve sağlamlığı korumak amacıyla yüksek Doppler ortamları için 120 kHz veya 240 kHz alt taşıyıcı aralığı gibi daha büyük aralıklarını seçmektedir (Mikro-Doppler yayılımı her bir sembolle birlikte değişmektedir. Bu varyasyonlar değerlendirilmektedir ve değerler Doppler yayılımının düşük mü yüksek mi olduğunu belirlemek için sıralanmakta ve kategorize edilmektedir.)

25

30

veya

- Dalga formu seçimi: Belirli bir sembol için maksimum Doppler yayılımı f_{Dmaks} önceden tanımlanmış bir maksimum Doppler yayılımı eşliğini

$f_{Dmaks\ th}$ aşarsa, yani $f_{Dmaksıncı} < f_{Dmaks\ n}$ ise, verici (1.1) tarafından dalga formu W seçilecektir, burada $n = 1, 2, \dots, N$, N toplam sembol içindeki n -inci semboldür. Dalga formu W parametreleri, belirli bir sembolün maksimum mikro-Doppler yayılım özellikleriyle uyumlu olacak şekilde özel olarak tanımlanacak, böylece yeni koşullar altında optimum performans sağlanacaktır. Tersine, sembol için maksimum Doppler yayılımı eşik altında kalırsa, yani $f_{Dmaksıncı} > f_{Dmaks, n}$ ise, iletim için alternatif bir dalga formu V verici (1.1) tarafından korunacaktır. Eşikten daha az mikro-Doppler yayılımını ifade eden düşük mikro-Doppler yayılımı için, stabil iki yönlü iletişim bağlantısı (1.4) koşullarını idare etme açısından verimlilik ve basitlik nedeniyle ideal olduğu için, Periyodik Önek OFDM (CP-OFDM) gibi çok taşıyıcılı dalga formları verici (1.1) tarafından uygulanmaktadır. Öte yandan, eşikten daha fazla mikro-Doppler yayılımını ifade eden yüksek mikro-Doppler yayılımı koşulları için geniş alt taşıyıcı aralığına sahip OFDM, Filtre Bankası Çoklu Taşıyıcısı (FBMC) veya Dikey Zaman-Frekans Uzayı (OTFS) gibi daha sağlam dalga biçimleri uygulanmaktadır veya

- Kodlama/Modülasyon planı seçimi: Maksimum mikro-Doppler yayılımı f_{Dmax} farklı semboller arasında değiştiği için, her bir sembol kendi maksimum mikro-Doppler yayılımına göre ayarlanmış bir kodlama ve modülasyon planı uygulayacaktır, yani $f_{Dmaks\ 1} \neq f_{Dmaks\ 2}$, daha sonra sembolde uygulanan plan $C_1 \neq$ sembol C_2 . Verici (1.1), C_1^1, C_2^2, C_N^k olarak önceden tanımlanmış $k = 1, 2, \dots, K$ kümesinden her bir sembol için en uygun kodlama/modülasyon planını dinamik olarak seçmektedir, burada C_N^k , N -inci sembol için seçilen k -inci kodlama/modülasyon planını temsil etmektedir. İki yönlü iletişim bağlantısının (1.4) stabil kaldığı düşük Doppler yayılımı senaryolarında, güvenilir iletişim ve daha yüksek veri hızları elde etmek için verici (1.1) tarafından Dörtlü Faz Kaydırmalı Anahtarlama (QPSK) veya 16-Dörtlü Genlik Modülasyonu (QAM) gibi yüksek modülasyon sırası planları uygulanmaktadır, konvolüsyonel kodlama, turbo kodlama veya Düşük Yoğunluklu Eşlik Kontrolü (LDPC) gibi önceden belirlenmiş bir hata düzeltme yöntemi ile desteklenmektedir, tercihen $\frac{2}{3}$ veya $\frac{3}{4}$ kodlama oranları seçilebilmektedir. Hızlı ve aşırı iki yönlü iletişim bağlantısı (1.4) değişimlerinin meydana geldiği

yüksek Doppler yayımlı ortamlarda, verici (1.1) tarafından Reed-Solomon kodları, düşük oranlı LDPC veya kutupsal kodlar gibi önceden belirlenmiş bir hata düzeltme tekniği ile birlikte BPSK (İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama) veya azaltılmış küme QPSK (Dörtlü Faz Kaydırmalı Anahtarlama) gibi düşük dereceli modülasyon planları kullanılmaktadır ve en dinamik koşullarda bile sinyal güvenilirliği sağlanmaktadır, tercihen $\frac{1}{2}$ veya $\frac{1}{4}$ kodlama oranları uygulanabilmektedir (Mikro-Doppler yayılımı her bir sembolle birlikte değişmektedir. Bu varyasyonlar değerlendirilmektedir ve değerler Doppler yayılımının düşük mü yüksek mi olduğunu belirlemek için sıralanmakta ve kategorize edilmektedir.)

- Verici (1.1) tarafından tasarlanan uyarlamalı çerçeve yapısı, antenler (1.3) aracılığıyla iki yönlü iletişim bağlantısı (1.4) üzerinden alıcıya (1.2) gönderilmektedir.

Şekil 5-a, T süreli bir Dikey Frekans Bölmeli Çoklama (OFDM) çerçevesi için mikro-Doppler yayılım etkisi için nümeroloji seçimini göstermektedir. Basit bir frekans kaymasının aksine, mikro-Doppler etkisi sinüzoidal örüntüdeki kalınlıkla gösterildiği gibi bir yayılım olarak gözlemlenmektedir. Bu görsel temsil, Doppler yayılımının zamanla değişen doğasını ve karmaşıklığını vurgulamakta ve zaman-frekans alanındaki farklı özelliklerini vurgulamaktadır. OFDM sisteminin çerçeve yapısı N sembolden oluşmaktadır ve her bir sembolden önce semboller arası girişimi gidermek ve çok yollu yayılımı ele almak için bir periyodik önek (CP) gelmektedir (Şekil 5-a). $T_1, T_2 \dots T_N$, N OFDM sembolü için her bir sembol süresini temsil etmektedir. Klasik yöntemde, çerçevenin başlangıcında, hareket veya iki yönlü iletişim bağlantısını etkileyen diğer dinamik faktörler nedeniyle beklenen en uç zaman-frekans değişimlerini yansıtan maksimum Doppler yayılımı f_{Dmaks} (Şekil 5-a) ölçülmektedir. Ölçülen bu maksimum mikro-Doppler yayılımı daha sonra tüm çerçeve süresi için sabit bir parametre olarak kullanılmaktadır. Bu değere dayanarak, önceden tanımlanmış bir nümeroloji kümesi $m = 1, 2 \dots M$ arasından bir nümeroloji seçilmektedir, burada M mevcut nümerolojilerin toplam sayısını göstermektedir. Seçilen nümeroloji, $\hat{m}$ tüm çerçeve için sabit kalmaktadır ve çerçevedeki tüm sembollere eşit olarak uygulanan alt taşıyıcı aralığını ve sembol süresini $O_1^{\hat{m}}, O_2^{\hat{m}} \dots O_N^{\hat{m}}$ olarak belirlemektedir; burada $O_N^{\hat{m}}$, N -inci OFDM sembolünü sabit bir nümeroloji $\hat{m}$ ile temsil etmektedir. CP uzunluğu da bu maksimum mikro-Doppler yayılımını hesaba katacak şekilde konfigüre edilmektedir, böylece $CP_1^{\hat{m}}$,

$CP_2^{\hat{m}} \dots CP_N^{\hat{m}}$ olarak sinyal bütünlüğünü korurken iki yönlü iletişim bağlantısı karşı yeterli koruma sağlamaktadır, burada $CP_N^{\hat{m}}$, N -inci OFDM sembol CP'sini sabit bir nömeroloji $\hat{m}$ ile temsil etmektedir. Bu yaklaşım, maksimum mikro-Doppler yayılımını tüm çerçeve için statik bir parametre olarak ele alarak sistem tasarımını basitleştirmektedir. Bununla birlikte, çerçeve içinde zamanla değişen Doppler koşullarına uyum sağlamamaktadır, bu da Doppler yayılımında önemli zamansal değişikliklerin olduğu senaryolarda verimsizliğe yol açabilmektedir. Bu zorluğun üstesinden gelmek için, yukarıda ayrıntıları verilen önerilen yöntem Şekil 5-b'de gösterilmiştir.

10 Dalga formu seçimi Şekil 6'da gösterilmiştir. Geleneksel yöntemlerde, maksimum Doppler yayılımı f_{Dmaks} iki yönlü iletişim bağlantı durumu gözlemlenerek hesaplanmaktadır (Şekil 6-a). Bu değere dayanarak, mikro-Doppler yayılım etkilerini karşılamak için sabit parametrelili bir dalga formu seçilmektedir. Bir dizi sabit parametreye sahip bir dalga formumuz W olduğunu varsayalım. Bu dalga formu, farklı semboller arasında meydana gelebilecek mikro-Doppler yayılımındaki değişikliklere bakılmaksızın, her sembol için T süresindeki çerçeve içindeki tüm sembollere eşit olarak uygulanmaktadır. İletim sırasında mikro-Doppler yayılımı artarsa sistem değişikliklere uyum sağlamadığı için dalga formu W değişmeden kalacaktır. Bu yanıt verme eksikliği, dinamik ortamlarda artan ICI (Taşıyıcılar Arası Girişim) ve azalan güvenilirlik gibi düşük performansa yol açabilmektedir. Şekil 6-b bu sorunu ele almak için tasarlanan önerilen yöntemi sunmaktadır. Mikro-Doppler yayılımı, gözlemlenen mikro-Doppler örüntüsünün açıkça gösterdiği gibi, farklı semboller arasında değişkenlik göstermektedir.

Kodlama/modülasyon planının seçimi Şekil 7'de açıklanmaktadır. Geleneksel yöntemlerde, kodlama/modülasyon planı iki yönlü iletişim bağlantısı için gözlemlenen maksimum Doppler yayılımına f_{Dmaks} dayalı olarak seçilmektedir (Şekil 7-a). Uygun bir modülasyon ve kodlama planının seçimi, iletişim sisteminin güvenilirliğini, veri hızını ve sağlamlığını doğrudan etkilediği için kritik öneme sahiptir. Seçilen bu plan daha sonra T süreli tüm çerçeveye ve içindeki tüm sembollere, tek tek semboller arasındaki Doppler yayılımındaki değişiklikleri hesaba katmadan eşit olarak uygulanmaktadır. Bu değere dayalı olarak, önceden tanımlanmış bir kodlama/modülasyon planları kümesinden $k = 1, 2, \dots, K$ bir plan seçilmektedir, burada K mevcut planların toplam sayısını göstermektedir. Seçilen kodlama/modülasyon planı $\hat{k}$, tüm çerçeve boyunca ve $C_N^{\hat{k}}$ olarak gösterilen N sembolleri

boyunca değişmeden kalmaktadır (Şekil 7-a). Uygun bir plan, sistemin sinyal bütünlüğünü korumasını ve verilen iki yönlü iletişim bağlantı koşulları altında hataları en aza indirmesini sağlamaktadır. Ancak mikro-Doppler yayılımındaki bireysel semboller arasındaki değişimleri dikkate almadan T boyunca tek bir plan uygulayarak, geleneksel yöntemler iki yönlü iletişim bağlantısının zamanla değişen özelliklerine dinamik olarak uyum sağlayamamaktadır. Bu esneklik eksikliği, özellikle seçilen planın değişen iki yönlü iletişim bağlantısı koşullarını yeterince ele alamayabileceği önemli Doppler dalgalanmalarının olduğu ortamlarda optimumun altında performansa yol açabilmektedir. Şekil 7-b, bu sınırlamanın üstesinden gelmek için yukarıda ayrıntılı olarak açıklanan önerilen yöntemi göstermektedir.

10

Buluşun önemi, hareket açısından zengin iletişim senaryoları için 4G, 5G ve gelecekteki 6G ağları dahil olmak üzere yeni nesil kablosuz iletişim sistemlerinin performansını ve uyarlanabilirliğini arttırmak için rotorlar gibi dönen bileşenlerle ilişkili mikro-Doppler yayılım etkisinden dinamik olarak yararlanma yeteneğinde yatmaktadır. Buluş, mikro-Doppler imzalarının zamanla değişen örüntülerini taklit eden uyarlamalı bir çerçeve yapısı sunarak, zamanla değişen iki yönlü iletişim bağlantısı (1.4) koşulları, girişim azaltma ve dinamik ortamlarda sinyal bütünlüğünü koruma gibi temel zorlukları etkili bir şekilde ele almaktadır.

20

Sistem (1) ve yöntem, dronlar, araçlar, makineler ve dönme bileşenlerine sahip diğer nesneler dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere dönme hareketi içeren senaryolara geniş ölçüde uygulanabilmektedir. Buluş, mikro-Doppler dinamiklerinin benzersiz özelliklerinden faydalanarak sağlam modülasyon teknikleri, gelişmiş iki yönlü iletişim bağlantısı (1.4) tahmini ve verimli kaynak tahsisi sağlamaktadır, böylece veri iletiminin güvenilirliğini ve verimliliğini arttırmaktadır. Buluş, dinamik senaryolarda güvenilir bağlantı sağlayarak akıllı üretim, otonom araçlar, dron iletişimi, hava ağları ve hatta uzay iletişimi gibi çeşitli uygulamaları desteklemekte ve modern kablosuz teknolojilerde dönüştürücü bir ilerleme olarak konumlanmaktadır.

25

30

Buluş, dönen bileşenleri içeren dinamik ortamlarda güvenilir kablosuz iletişim gerektiren çeşitli endüstrilerde oldukça uygulanabilir. Savunma, lojistik ve tarım için insansız hava araçlarına (UAV'ler); otonom ve bağlantılı araçlar için V2X sistemlerine; akıllı üretim ve robotik için endüstriyel IoT'ye; uçak iletişimi için uzay ve havacılığa; gemicilik ve açık deniz platformları için denizcilik iletişimine entegre edilebilmektedir. Ayrıca hareketli cihazlarla

sağlık izleme sistemlerinde ve zamanla değişen iki yönlü iletişim bağlantılarında (1.4) veri iletimini optimize etmek için yeni nesil telekomünikasyonda (5G ve 6G) potansiyel uygulamaları vardır. Mikro-Doppler etkisini azaltmak için çerçeve yapılarını dinamik olarak uyarlayan buluş, bu endüstrilerin kritik taleplerini karşılayarak sağlam ve verimli iletişim sağlamaktadır.

Bu buluş, rotorlardaki mikro-Doppler yayılım etkisi ile ilgili aşağıdaki kritik teknik sorunları çözmektedir:

1. Zamanla Değişen Koşullar Nedeniyle Kanal Bozulması: Dönen veya hareket eden nesnelerin bulunduğu ortamlarda, mikro-Doppler yayılım etkilerinin neden olduğu zamanla değişen kanal koşulları, çok yollu sönmelenme, Doppler yayılımı ve sinyal dekorelasyonu dahil olmak üzere sinyal bozulmasına yol açmaktadır. Buluş, mikro-Doppler yayılım etkisinin zamanla değişen örüntülerine dinamik olarak uyum sağlayan uyarlamalı bir çerçeve yapısı sunarak zorlu ortamlarda bile sağlam ve verimli veri iletimi sağlamaktadır.
2. Kanal Tahminindeki Sınırlamalar: Kanal durumu tahmini için geleneksel yöntemler, hızla değişen mikro-Doppler dinamiklerini hesaba katmakta zorlanmakta, bu da yanlışlıklara ve optimal olmayan iletişim performansına yol açmaktadır. Önerilen çözüm, kanal durumu tahmin doğruluğunu arttırmak için öngörülebilir mikro-Doppler imzalarını kullanmaktadır ve dinamik koşullar altında iletişim performansını arttırmaktadır.
3. Kaynak Tahsisinde Verimsizlikler: Mevcut sistemler, mikro-Doppler kaynaklı değişimlere yanıt olarak kaynak tahsisini dinamik olarak uyarlama yeteneğinden yoksundur ve bu da bant genişliği ve gücün verimsiz kullanılmasına neden olmaktadır. Gerçek zamanlı dinamik kaynak tahsisi, mikro-Doppler dinamiklerinin neden olduğu değişikliklere uyum sağlayarak bant genişliği ve güç kullanımını optimize etmektedir.

Buluş, özellikle rotorlu sistemlerde kablosuz iletişimde mevcut çözümlerden ayıran çeşitli avantajlar ve benzersiz özellikler sunmaktadır. Temel avantajlar aşağıda verilmiştir:

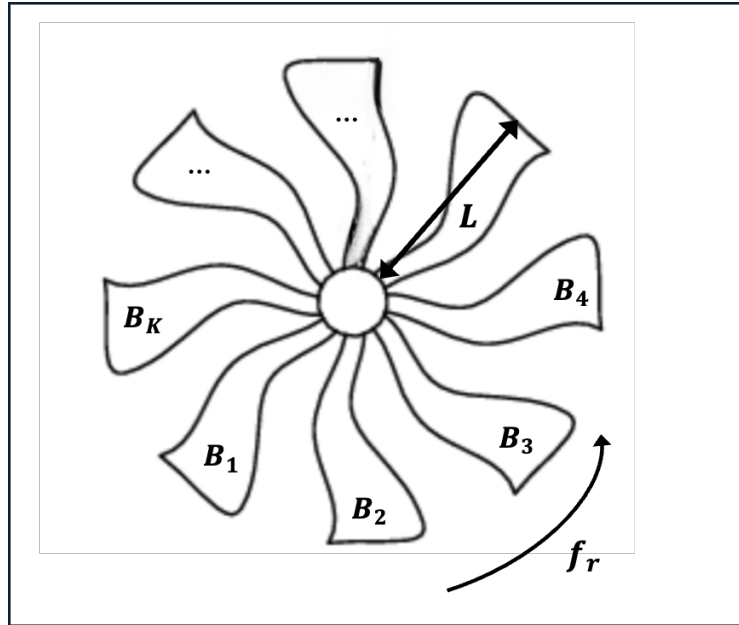
1. Geliştirilmiş İletişim Sağlamlığı: Buluş, rotorların neden olduğu zamanla değişen kanal koşullarının zorluklarını ele alarak dinamik ortamlarda tutarlı ve güvenilir veri iletimi sağlamaktadır.

2. Geliştirilmiş Kanal Tahmini: Buluş, mikro-Doppler imzalarının benzersiz özelliklerini kullanarak kanal durumu tahmin doğruluğunu önemli ölçüde arttırmaktadır ve daha iyi sistem performansı sağlamaktadır.
3. Optimize Edilmiş Kaynak Kullanımı: Dinamik kaynak tahsis mekanizmaları, bant genişliği ve gücün verimli kullanılmasını sağlayarak çevresel değişikliklere gerçek zamanlı olarak uyum sağlamaktadır.
4. Çeşitli Senaryolara Uyarlanabilirlik: Dronlar, makineler ve araçlar gibi rotorlu senaryolardaki zorlukların üstesinden gelebilme özelliği, onu modern iletişim sistemleri için çok yönlü bir çözüm haline getirmektedir.
5. Geniş Sektör Uygulamaları: Otonom sistemler, endüstriyel IoT ve geleceğin akıllı şehir ağlarındaki uygulamaları içerecek şekilde geleneksel iletişim sistemlerinin ötesine geçmektedir.

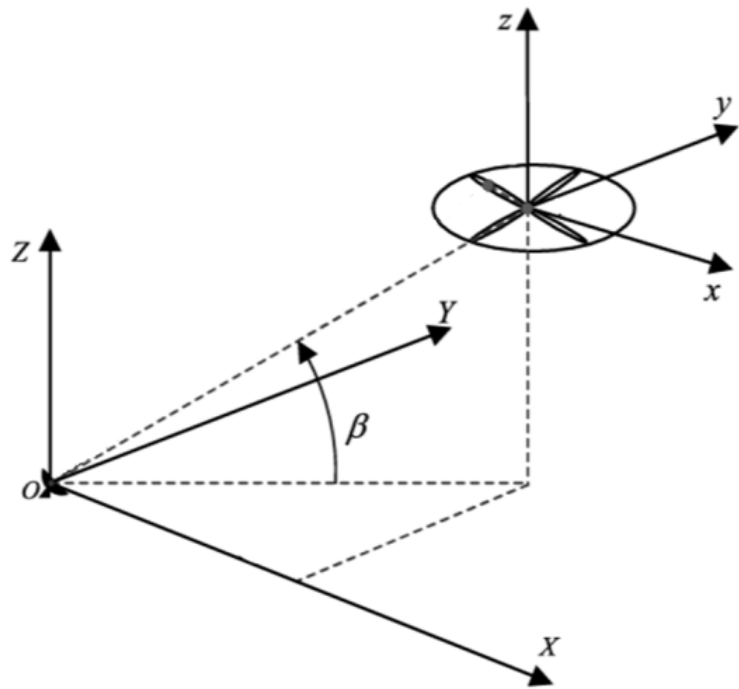
Yukarıdaki açıklamada “kanal” kelimesi “iki yönlü iletişim bağlantısı (1.4)” anlamına gelmektedir.

Buluş yukarıdaki örnek yapılandırmalarla sınırlı değildir ve teknikte uzman bir kişi buluşun yapılandırmalarını kolayca ortaya koyabilmektedir. Bunlar, ekli istemlerde belirtildiği üzere buluş kapsamı dahilinde değerlendirilmektedir.

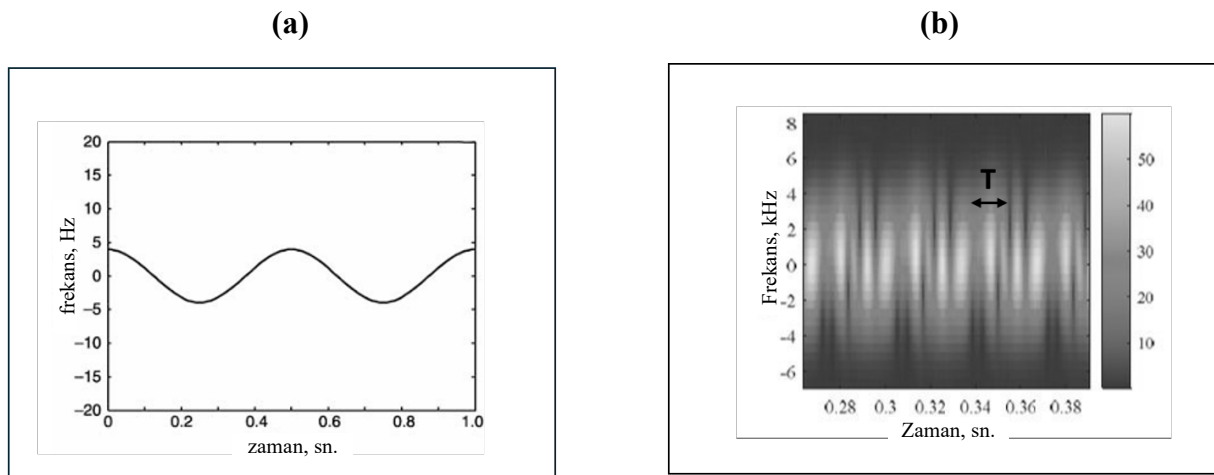
ŞEKİL 1



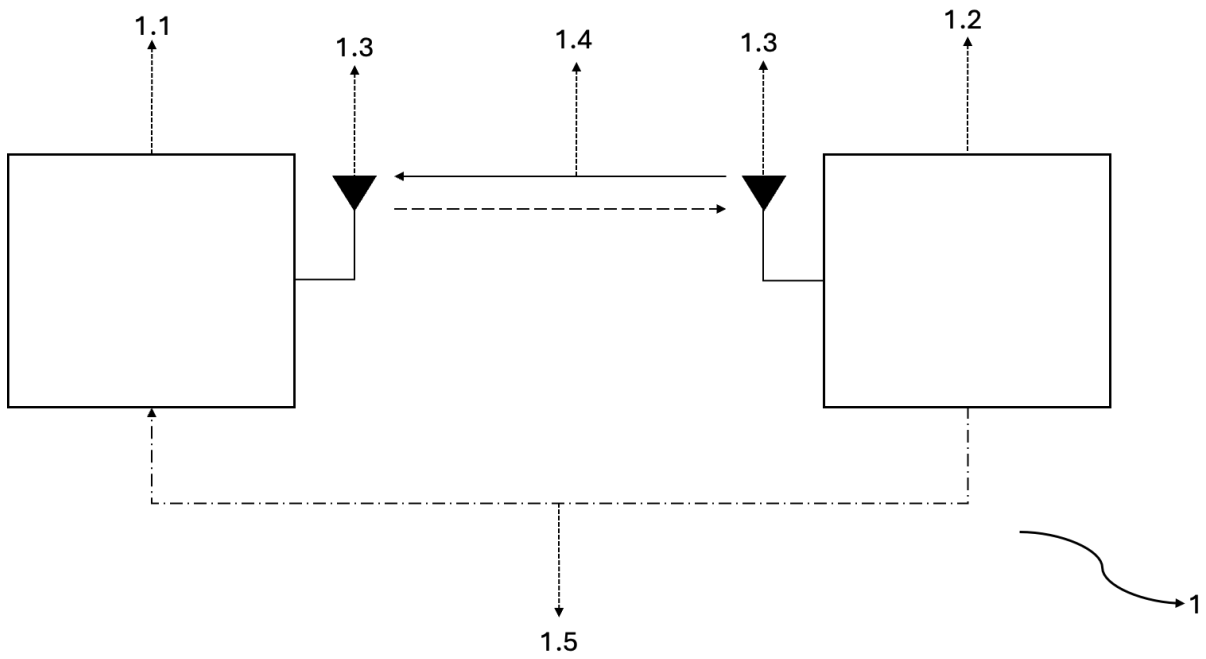
ŞEKİL 2



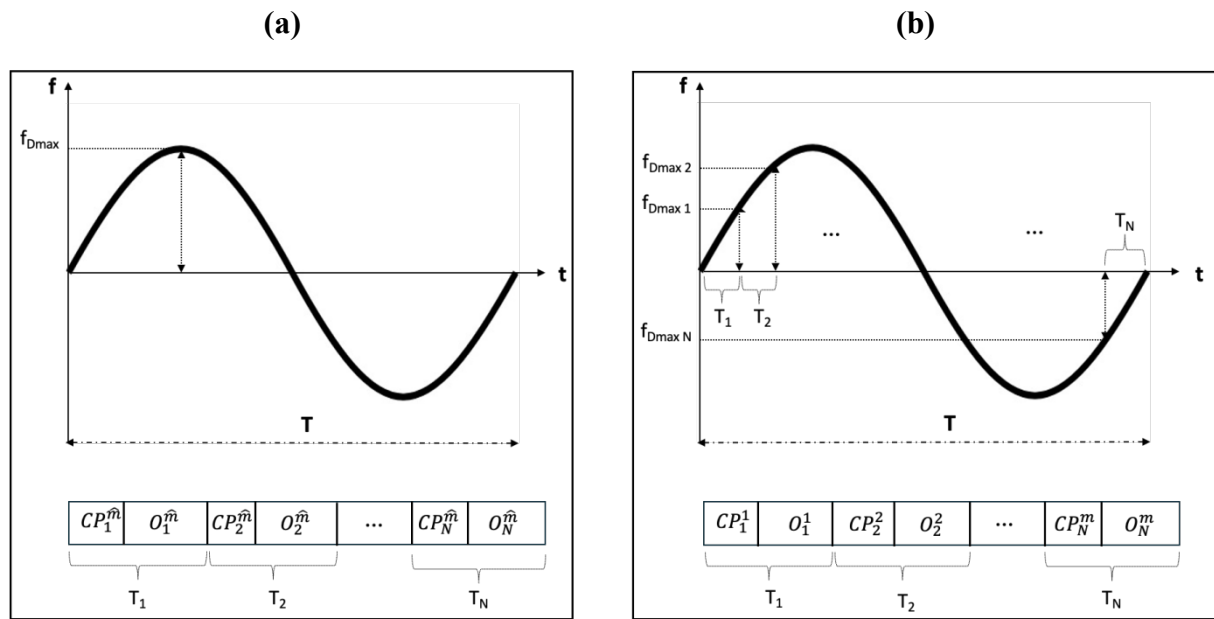
ŞEKİL 3



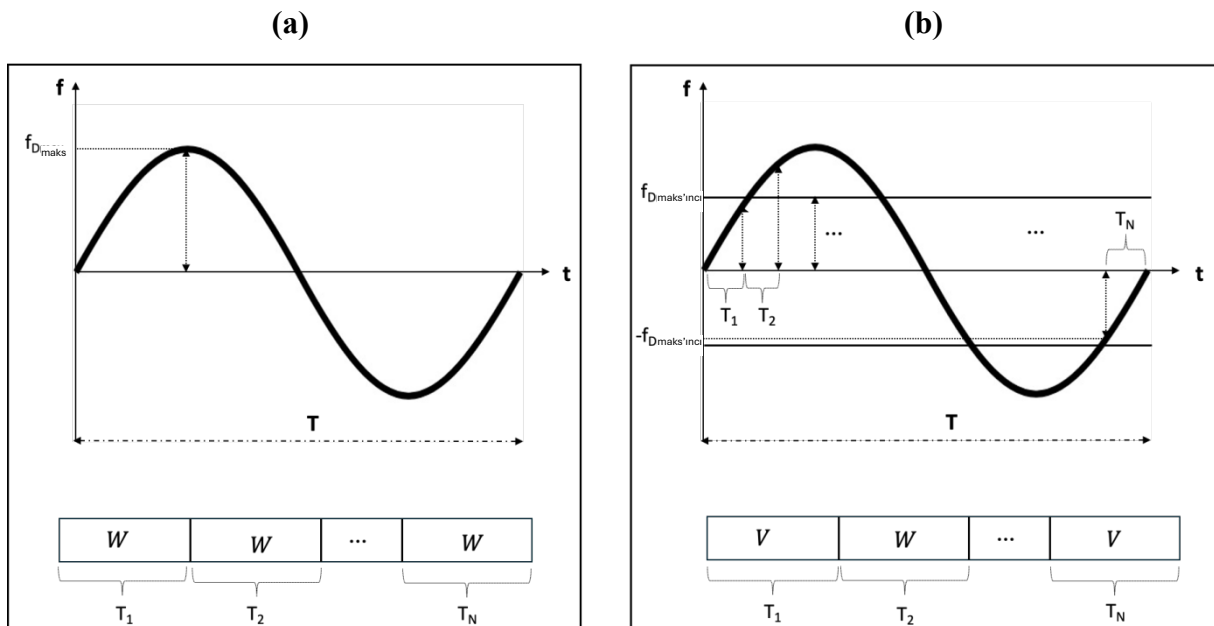
ŞEKİL 4



ŞEKİL 5

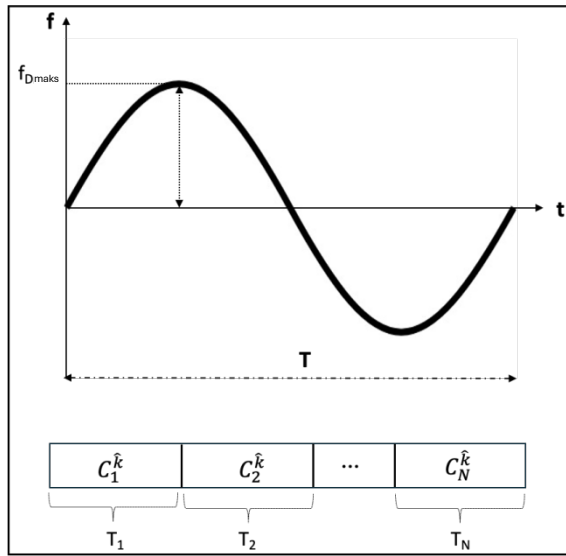


ŞEKİL 6



ŞEKİL 7

(a)



(b)

