

ÖZET

TERAHERTZ BANDINDA BİR AÇ/KAPA ANAHTARLAMA YÖNTEMİ

- 5 Buluş, zamansal genişleme etkisinden yararlanarak iletilen sinyalin darbe genişliğini uyarlayan terahertz (THz) bandında AÇ/KAPA anahtarlama ve iletişim yöntemiyle ilgilidir.

İSTEMLER

1. Terahertz bandında bir verici ve alıcı arasındaki kablosuz iletişim için bir bilgisayar tarafından uygulanan AÇ/KAPA anahtarlama yöntemi olup, aşağıdakiler ile karakterize edilmektedir;

Verici ve alıcı arasındaki iletim sırasında AÇ darbeleri (100) veya KAPA darbeleri (120) olan anahtarlama darbelerini genişleten bir zamansal genişleme faktörünün ve verici tarafında AÇ darbesinin (100) zaman içinde daraltılma oranını ifade eden bir daralma faktörü belirlenmesi,

Alıcı tarafa iletilecek en az iki ardışık darbenin belirlenmesi,

Alıcı tarafından alınacak ilk darbe AÇ darbesi (100) ve alıcı tarafından alınacak ikinci darbe KAPATMA darbesi (120) ise ilk darbenin daraltılması ve alıcı tarafından alınacak ilk darbe AÇ darbesi (100) ve alıcı tarafından alınacak ikinci darbe AÇ darbesi (100) ise yalnızca bir darbe gönderilmesi.

2. AÇ darbesi (100) ise ve alıcı tarafından alınacak son darbe ise ardışık üçüncü darbenin daraltılması ile karakterize edilen, İstem 1'e göre bir yöntem.

3. Verici ve alıcı arasındaki mesafenin hesaplanması ve bu mesafenin zamansal genişleme faktörünü hesaplamak için kullanılması ile karakterize edilen, İstem 1'e göre bir yöntem.

4. İstem 1'e göre bir yöntem olup, aşağıdaki formül ile zamansal genişleme faktörünün hesaplanması ile karakterize edilmektedir

$$\beta_{br} = T_{Rx} / T_{Tx} \text{ burada}$$

β_{br} zamansal genişleme faktörüdür, T_{Rx} alıcı tarafındaki darbenin genişliğidir ve T_{Tx} verici tarafındaki darbenin genişliğidir.

5. İstem 1'e göre bir yöntem olup, Verici boyutunda AÇ darbesinin (100) daraltılmış genişliğinin aşağıdaki formül ile tanımlanması ile karakterize edilmektedir

$$T_{shrunked_tx} \leq \frac{T_{Tx}}{\beta_{br}} \text{ burada}$$

β_{br} zamansal genişleme faktörüdür, $T_{shrunked_tx}$ AÇ darbesinin (100) daraltılmış genişliğidir ve T_{Tx} verici tarafındaki darbenin genişliğidir.

- 5 6. Önceki istemlerden herhangi birine göre AÇ/KAPA anahtarlama yöntemi ile iletmeden önce sinyalin modüle edilmesi ile karakterize edilen, terahertz bandında bir verici ve alıcı arasında kablosuz iletişime yönelik bir sinyal iletim yöntemi.
- 10 7. İstem 6'ya göre yöntemin adımlarını gerçekleştirmeye yönelik araçlar içeren bir veri işleme cihazı.
- 15 8. Program bir veri işleme cihazı tarafından yürütüldüğünde, veri işleme cihazının İstem 6'ya göre yöntemin adımlarını gerçekleştirmesini sağlayan talimatları içeren bir bilgisayar programı.
- 15 9. Bir bilgisayar tarafından yürütüldüğünde bilgisayarın İstem 6'ya göre yöntemin adımlarını gerçekleştirmesini sağlayan talimatları içeren bilgisayar tarafından okunabilir bir ortam.

TARİFNAME

TERAHERTZ BANDINDA BİR AÇ/KAPA ANAHTARLAMA YÖNTEMİ

5 Teknik Alan

Mevcut buluş, zamansal genişleme etkisinden yararlanarak iletilen sinyalin darbe genişliğini uyarlayan terahertz (THz) bandında AÇ/KAPA anahtarlama ve iletişim yöntemiyle ilgilidir.

10 Önceki Teknik

Kablosuz iletişim ağlarının bir sonraki nesli, otonom araçlar, genişletilmiş gerçeklik ve yüksek hızlı iletişim ile yüksek çözünürlüklü algılamayı gerektiren akıllı taşıma sistemleri gibi çağın en yeni uygulamalarını birleştirmeyi hedeflemektedir. THz bandının, doğal geniş bant genişliğine sahip olmasından dolayı, son derece yüksek veri iletim hızı (gigabit/sn düzeyinde) ve milimetre seviyesinde algılama bilgisi sağlaması beklenmektedir [1].

Bununla birlikte, bu yüksek frekanslı bantların yüksek hızlı iletişim ve büyük ölçekli algılama potansiyeli, zorlu iletim mekanizmaları nedeniyle sınırlıdır. Bu nedenle, THz bandı için dalga formunu tasarlarken veya seçerken, moleküler absorpsiyon, TBE, yansıma ve saçılma kayıpları, sınırlı kapsama alanı ve gelişmiş Doppler etkisi gibi yüksek zayıflama kayıpları gibi faktörler dikkate alınmalıdır [2].

Yüksek frekansta sınırlı kapsama nedeniyle, çok taşıyıcılı dalga formlarının kısa menzil için uygun bir seçenek olmayabileceği göz önüne alınmalıdır. Dikey Frekans Bölmeli Çoklama (OFDM) gibi çok taşıyıcılı dalga formları, verilen bant genişliğini alt kanallara bölmekte, bu da iletim süresini artırır ve dolayısıyla onu kısa mesafeler için uygunsuz hale getirmektedir. Ayrıca, OFDM gibi çok taşıyıcılı dalga formları, yüksek tepe gücünde çalışmak için güç yükselteçlerinin (PA'lar) kullanılmasını gerektiren tek taşıyıcılı dalga formlarına kıyasla daha büyük tepe-ortalama güç oranı (PAPR) sergilemektedir.

Ayrıca, çok taşıyıcılı dalga formları THz bandında geliştirilmiş Doppler etkisine karşı dayanıklılıktan yoksundur. Bu nedenle, Tek Taşıyıcılı dalga formları, THz bandında tercih

edilecek daha iyi adaylardır. Düşük karmaşıklık ve kısa menzilli iletişim için, veri modülasyon şeması olarak AÇ/KAPA Anahtarlama Modülasyonu (OOK) tercih edilen bir seçenektir [3]. OOK, ultra geniş bant THz spektrumunu kapsayan femtosaniye süresindeki darbeleri kullanmaktadır. OOK, bir "1" bitini iletmek için çok kısa darbeleri kullanmakta ve "0" biti için herhangi bir iletim yapmamaktadır. Ancak, zamansal genişleme ve sıkı senkronizasyon prosesi, darbe tabanlı modülasyon şemasının uygulanabilirliğini sınırlamaktadır.

Moleküler absorpsiyon ve bununla ilişkili fenomen, yani TBE, Terahertz iletişim için zararlı olarak kabul edilmektedir. THz bağlantılarından kaynaklanan saçılma, yansıma ve moleküler absorpsiyon kayıpları nedeniyle yüksek pat kaybı, istenilen veri iletim hızı, algılama çözünürlüğü ve kapsama alanına ulaşma konusunda kısıtlamalar getirmektedir. Ancak, bu benzersiz THz özel iletim mekanizmaları, algılama, iletişim ve güvenlik alanlarındaki fayda sağlamak için kullanılabilir. Bununla birlikte, literatürdeki bazı çalışmalar, moleküler absorpsiyonun frekansa, mesafeye ve çevreye bağlı olduğu gerçeği göz önüne alındığında, güvenilir iletişimi [4,7] sağlamak için moleküler absorpsiyonun ve TBE'nin önemli olduğu frekans bölgelerinden kaçınmaya odaklanmıştır. Ayrıca minimum TBE'ye neden olan THz iletişimlerinde de kısa mesafeler tercih edilmiştir.

Çalışmalardan biri [5], mevcut iletim bant genişliğinin mesafeyle birlikte daralması gerçeğinden yararlanmayı önermektedir. Tek bir verici ve farklı mesafelerde birden fazla alıcı bulunan bir senaryoda, güvenilir iletişimi sağlamak için modülasyon sırası ve sembol süresi, konum bazlı mevcut bant genişliğine göre uyarlanmaktadır.

Mesafe-uyumlu absorpsiyon tepe modülasyonunda [6] yazarlar, moleküler absorpsiyon tepe noktaları altında sinyali dinamik olarak modüle ederek gizliliği arttırmayı amaçlamaktadır.

Başka bir çalışma [7], gürültünün etkisini arttırmak ve çeşitli mesafelerde bulunan dinleyicilerdeki bilgi sinyalini bozmak için TBE'nin kullanıldığı, kendi kendine girişim iptali (SIC) içermeyen bir alıcı yapay gürültü şemasını önermektedir.

Sonuç olarak, yukarıda bahsedilen tüm sorunlar, ilgili alanda yenilik sunmayı gerektirmiştir.

Buluşun Kısa Açıklaması ve Amacı

Mevcut buluşun temel amacı, terahertz (THz) bandında alıcıda yanlış tespiti önlemektir.

- 5 Buluşun diğer bir amacı, terahertz (THz) bandında kablosuz iletişim için enerji verimliliğini artırmaktır.

Buluşun diğer bir amacı, terahertz (THz) bandında kablosuz iletişimde sembol arası girişimi azaltmaktır.

10

- Bu hedeflere ulaşmak için, mevcut buluş, TBE gibi THz özel kanal karakteristiklerini kullanarak THz iletişim sistemlerinin iletişim performansını ve enerji verimliliğini artırmaktadır. Moleküler absorpsiyon, alıcıda iletilen darbelerin genişlemesine neden olan THz iletişim sistemleri için yol kaybına en büyük katkıda bulunan faktördür. AÇ/KAPA
- 15 anahtarlama (OOK), TBE'nin telafi edilmediği durumda, TBE, AÇ sembollerinin KAPA sembollerine sızmasına neden olabilmekte ve bu da alıcıda yanlış tespitlere yol açabilmektedir. İletilen bitlerin küçültülmesiyle, alıcıda TBE'nin neden olduğu yanlış algılama önlenabilmektedir. Ancak ardışık bitler söz konusu olduğunda, yalnızca tek bir daralmasız darbe iletilmekte ve alıcıda ardışık iki bit üretmek için TBE'den
- 20 yararlanılmaktadır. Enerji verimliliği gereksinimi göz önüne alındığında, bu buluş THz sistemlerinde kritik ve çok ihtiyaç duyulan bir adımdır. Ek olarak, alıcıda TBE'nin sonucunda meydana gelen semboller arası girişimden (ISI) kaçınmak amacıyla son derece kısa süreli darbelerin iletilmesi

25 Şekillerin Kısa Açıklaması

Buluş konusunun daha iyi anlaşılabilmesi için gerekli şekiller ve ilgili açıklamalar aşağıda verilmektedir.

- 30 **Şekil 1a.** Alternatif veri bitleri 10101 varlığında iletim şeması.
Şekil 1b. Alternatif veri bitleri 1101 varlığında iletim şeması.
Şekil 1c. Alternatif veri bitleri 111 varlığında iletim şeması.
Şekil 1d. Alternatif veri bitleri 1111 varlığında iletim şeması.

Şekil 2. Mevcut yöntemin akış şeması

Referans Numaraları

- 5 Şekillerde verilen parça ve bileşenlere buluş konusunun daha iyi anlaşılabilmesi için değinilmektedir.

100. AÇ darbesi

110. Daraltılmış darbe

- 10 120. KAPA darbesi

130. Tek bit alınmış darbe

140. İki bit alınmış darbe

Buluşun Detaylı Açıklaması

15

Buluş, zamansal genişleme etkisinden yararlanarak iletilen sinyalin darbe genişliğini uyarlayan terahertz (THz) bandında bir AÇ/KAPA Anahtarlama (OOK) ve iletişim yöntemiyle ilgilidir.

20

Şekil 1, rastgele gelen bilgi bitlerinin varlığında önerilen iletim şemasını göstermektedir. Okları takip eden alt şekiller, TBE'yi deneyimledikten sonra veri alımını göstermektedir. THz kanalında, belirli bir frekans ve ortamda verici ve alıcı arasındaki mesafeyle doğru orantılı olarak TBE meydana gelmektedir. TBE, ortamdaki moleküllerle etkileşiminden kaynaklanan zaman alanında iletilen sinyalin/darbenin genişlemesi olarak kendini göstermektedir. Bir darbenin genişleme miktarı, darbe genişletme faktörü β_{br} ile tanımlanmaktadır. Bu buluşta, geleneksel AÇ darbesi (110) veya bit '1' (daraltılmadan önce) için AÇ/KAPA anahtarlama (OOK) kullanılmakta ve KAPA darbesi (110) veya '0' (iletim olmaması) için kullanılmaktadır. Belirli bir mesafede, β_{br} , aşağıdaki gibi pilot darbeleri ileterek veya literatürde [7] gibi kurulmuş matematiksel formüller kullanılarak hesaplanmaktadır.

30

Maksimum genişleme hesaplandıktan sonra iletilen AÇ darbeleri (100), yeni daraltılmış darbenin (110) süresi orijinal AÇ darbesinden (100) daha kısa olacak şekilde zaman içinde daraltılmaktadır. Bunu yaparak, daraltılmış darbe (110) TBE tarafından genişlediğinde ve tek

bit alınmış darbeyi (130) dönüştürdüğünde, bu darbe KAPA süresine veya '0' bitine sızmamakta, bunun yerine alıcıda TBE olmadan AÇ darbesi (100) tarafından işgal edilmesi gereken zamanı işgal etmektedir. Daralma miktarı, TBE veya β_{br} 'a bağlı olarak arttırılabilmekte veya azaltılabilmektedir.

5

Daraltma işleminin temel gereksinimi, aynı daraltılmış darbenin (110) genişletilmiş versiyonunun zaman içinde orijinal AÇ darbesinden (110) daha geniş olmayacak şekilde AÇ-darbesini küçültmektir.

- 10 Şekil 1a, alternatif veri bitleri 10101 varlığında iletim şemasını göstermektedir. Daraltılmış darbenin (110) AÇ biti '1' zamanla daraltılmaktadır, böylece TPE tarafından genişletildikten sonra aynı daraltılmış darbenin (110) genişletilmiş versiyonu KAPA periyoduna sızmaz ve yanlış algılama yaratmaz. Alternatif bitlerin 10101 iletilmesi durumunda, aralarında KAPA darbesi (120) bulunan üç daraltılmış AÇ darbesi (110) gönderilmektedir. Önerilen yöntem
- 15 boyunca KAPA süresi sabit kalmaktadır. Bu nedenle '10' iletilmektedir.

- Şekil 1b, 1101 için iletim şemasını göstermektedir. Burada belirtmekte fayda var ki ardışık bitlerin iletimi, TBE'den faydalanmakta ve enerji verimliliğini artırmaktadır. Şimdi 11'i iletmek için, verici ile alıcı arasında bilinen TBE göz önüne alındığında, AÇ darbesi (100) ve
- 20 ardından KAPA darbesi (120) tarafından takip edilen normal süreli yalnızca tek bir AÇ biti '1' iletilmektedir. Bir tek AÇ biti, genişleyerek iki bit alınmış darbeyi (140) elde etmek için alıcıda iki AÇ bitine eşit zaman dilimini işgal edecektir. Dolayısıyla alıcı, sinyal enerjisini iki bitlik sürelerde algıladığı için iki AÇ bitini algılayacaktır. Bu nedenle '11' yalnızca tek bir bit aracılığıyla iletilmektedir, bu da daralmasız AÇ darbesidir (100). TBE, iki adet AÇ biti '11'
- 25 almak için kullanılmaktadır. Kalan sıralı bitler '01', KAPA darbesi (120) (KAPA süresi) iletilerek ve ardından daraltılmış darbe (110) kullanılarak iletilmektedir.

- Şekil 1c, üç ardışık AÇ darbesinin (111) iletim mekanizmasını göstermektedir. '11' için Şekil 1b gibi, AÇ darbesi (100) ve KAPA darbesi (120) aracılığıyla iletilmektedir, yani genişleme etkisini içermek için düzenli daralmasız-AÇ darbesi (110) ve bir KAPA darbesi (120) takip etmektedir. Ve son AÇ biti '1' daraltılmış darbe (110) ile iletilmektedir.
- 30

Şekiller 1c ve 1d'de görebileceğiniz gibi daralma işlemi alıcı tarafa iletilmek üzere ardışık iki darbe uygulamaktadır. Ardışık ilk iki darbeden sonra, sonraki iki darbede aynı prensip uygulanmaktadır. Ancak son darbe herhangi bir darbe ile ardışık değildir ve AÇ darbesi (100) ise daima daralmaktadır.

5

Şekil 1d, 1111 için önerilen iletim şemasını temsil etmektedir. '11'i iletmek için, AÇ darbe (100) ve KAPA darbe (120) iletilmektedir, bu da iki bit alınmış darbenin (140) alınmasına, yani iki sembol/bit süresinde enerjinin varlığına yol açmaktadır.

- 10 Şekil 2'ye atfen öncelikle alıcı ile verici arasındaki mesafe hesaplanmakta veya belirlenmektedir. Üç boyutlu uzayda Tx (x_1, y_1, z_1) ve Rx (x_2, y_2, z_2) 'nin konum koordinatlarının bilindiği varsayılmaktadır. Böylece
- $$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$
- üzerinden alıcı-verici arasındaki mesafe hesaplanabilmektedir.

15

Daha sonra zamansal genişleme faktörü β_{br} hesaplanmaktadır. TBE, frekans, mesafe ve çevre gibi üç faktöre bağlı olan moleküler emilimin bir sonucu olarak ortaya çıkan bir olgudur. Sabit bir frekans ve çevre için, zamansal genişleme faktörü β_{br} , doğrudan alıcı ve verici arasındaki mesafe ile ilişkilidir ve matematiksel olarak [7] yapıldığı gibi veya verici

20 tarafındaki darbenin süresi olan T_{Tx} boyutundaki pilot darbeleri ile THz kanal tahmini yoluyla hesaplanabilmektedir. Kanalı geçtikten sonra, T_{Rx} 'yi alınan darbenin süresi olarak kabul edelim. Bu durumda genişleme faktörü aşağıdaki şekilde tanımlanabilmektedir

$$\beta_{br} = T_{Rx} / T_{Tx}$$

- 25 Hem mesafenin hem de zamansal genişleme faktörünün belirlenmesi, daralma faktörünün hesaplanmasını sağlamaktadır. Mesafeye bağlı darbe genişletme faktörü β_{br} , alıcıda yanlış algılamaya neden olmaktadır. Dolayısıyla bu etki vericide darbe daraltma yoluyla telafi edilmektedir. β_{br} değeri ne kadar büyük olursa darbenin o kadar daralması gerekmektedir. Örneğin, TBE'nin T_{Tx} 'yi iki katına çıkardığını düşünelim, bu durumda ISI'yi önlemek için T_{Tx}
- 30 orijinal darbe süresinin yarısına ayarlanmalıdır. Genişleme faktörü β_{br} için, alıcıda yanlış

algılamayı önlemek amacıyla küçültülmüş darbenin süresi $T_{shrunked_tx} \leq \frac{T_{Tx}}{\beta_{br}}$ f olarak tanımlanmaktadır.

- 5 Artan veri iletim hızı ve yüksek duyarga çözünürlüğü talepleri nedeniyle, terahertz frekans bantlarına doğru geçiş kaçınılmaz hale gelmektedir. Şu anda, 3GPP gibi uluslararası standardizasyon organizasyonları ve IEEE 802.15, THz bandına aktif bir şekilde odaklanmaktadır. Bu nedenle, önerilen buluş, bu organizasyonların kapsamında yer almaktadır. THz bandının iletim mekanizmaları, THz iletişim sistemlerinin enerji verimliliğini ve Bit Hata Oranı (BER) performansını artırmak amacıyla kullanılmaktadır.
- 10 Bununla birlikte, duyumsal genişletilmiş gerçeklik, akıllı şehirler, nesnelerin interneti (IoT), bağlı araç teknolojileri (araçtan araca (V2V), araçtan altyapıya, araçtan her şeye (V2X)), otonom araçlar, tele tıp ve yüksek çözünürlüklü holografik iletişim gibi birçok verim ve gecikme açısından kritik kullanım durumları, önerilen buluştan yararlanabilmektedir.

REFERANSLAR

[1] Chaccour, Christina, vd. "Seven defining features of terahertz (THz) wireless systems: A fellowship of communication and sensing." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 24.2 (2022): 967-993.

[2] D. Serghiou, M. Khalily, T. W. C. Brown ve R. Tafazolli, "Terahertz Channel Propagation Phenomena, Measurement Techniques and Modeling for 6G Wireless Communication Applications: A Survey, Open Challenges and Future Research Directions," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, cilt. 24, no. 4, s. 1957-1996, Fourthquarter 2022, doi: 10.1109/COMST.2022.3205505.

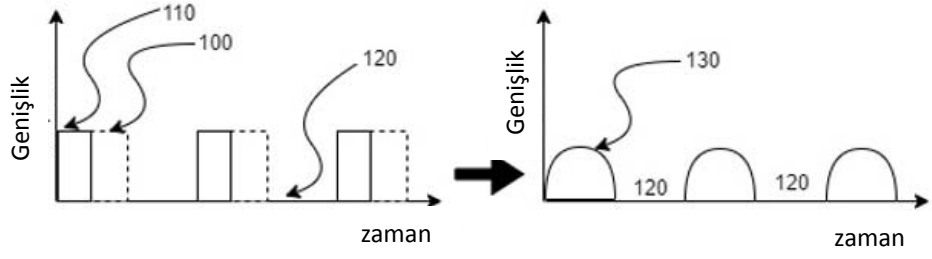
[3] S. Tarboush, H. Sariahdeed, M. -S. Alouini ve T. Y. Al-Naffouri, "Single- Versus Multicarrier Terahertz-Band Communications: A Comparative Study," in *IEEE Open Journal of the Communications Society*, cilt. 3, s. 1466-1486, 2022, doi: 10.1109/OJCOMS.2022.3201038.

[4] W. Gao, Y. Chen, C. Han ve Z. Chen, "Distance-Adaptive Absorption-Peak Hopping (DA-APH) Modulation for Terahertz Covert Communications," 2019 *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Waikoloa, HI, ABD, 2019, s. 1-6, doi: 10.1109/GLOBECOM38437.2019.9013380.

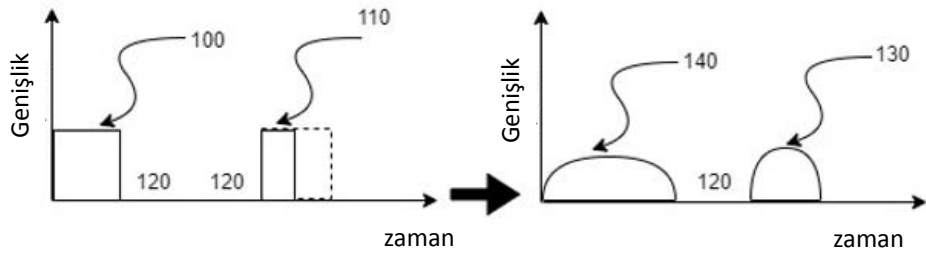
[5] Z. Hossain ve J. M. Jornet, "Hierarchical bandwidth modulation for ultra-broadband terahertz communications," in *ICC 2019-2019 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. IEEE, 2019, s.1–7.

[6] W. Gao, Y. Chen, C. Han ve Z. Chen, "Distance-Adaptive Absorption Peak Modulation (DA-APM) for Terahertz Covert Communications," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, cilt. 20, no. 3, s. 2064-2077, Mart 2021, doi: 10.1109/TWC.2020.3038902.

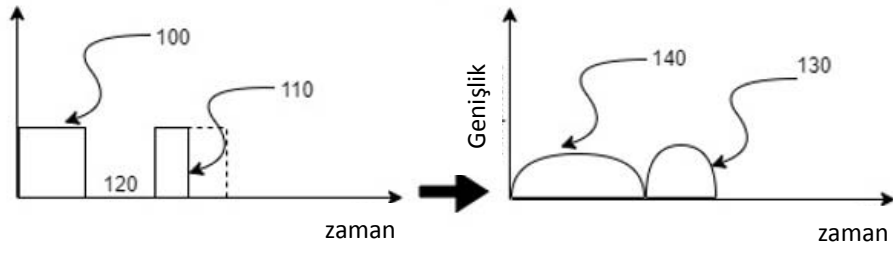
[7] Gao, Weijun, Chong Han, ve Zhi Chen. "DNN-powered SIC-free receiver artificial noise aided terahertz secure communications with randomly distributed eavesdroppers." *IEEE Transactions on Wireless Communications* 21.1 (2021): 563-576.



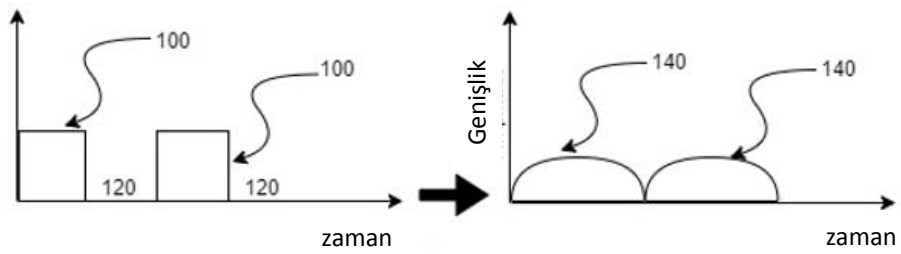
ŞEKİL 1a



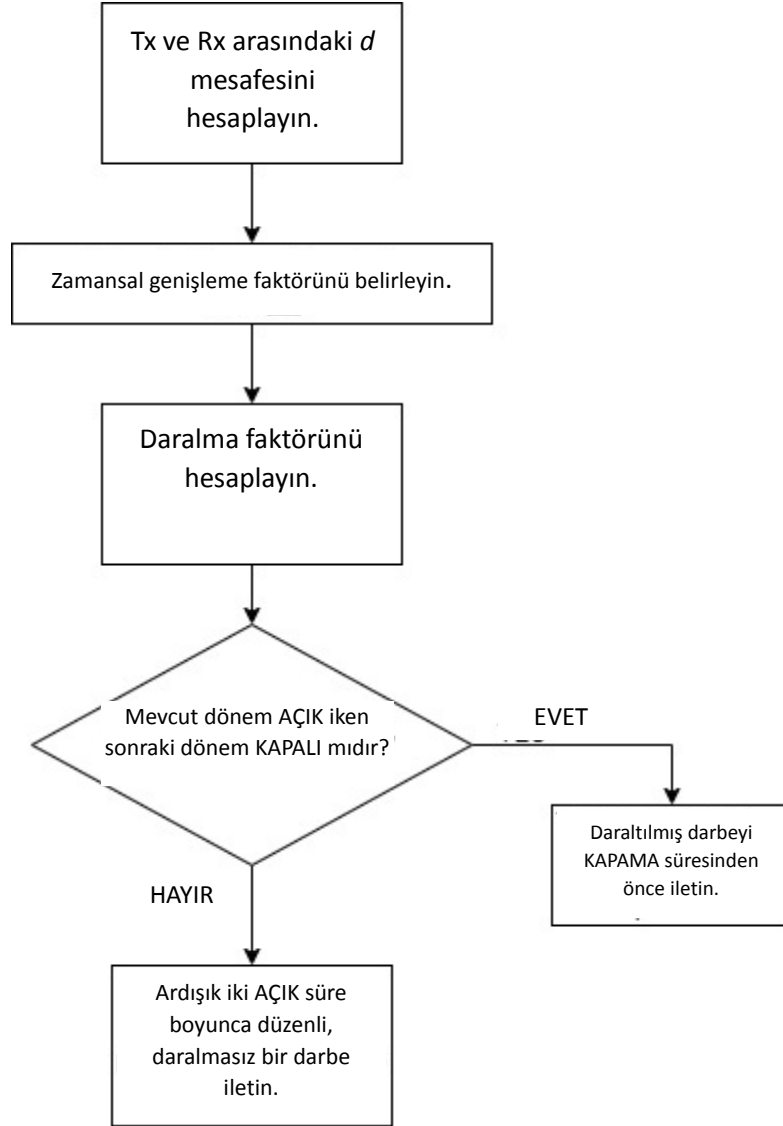
ŞEKİL 1b



ŞEKİL 1c



ŞEKİL 1d



ŞEKİL 2