

ÖZET

RADYO FREKANS (RF) BOZUKLUKLARI MODELİNİN OLUŞTURULMASINA YÖNELİK BİR YÖNTEM VE BİR İLETİM SİSTEMİ

5

Buluş, bir iletim sisteminin tasarımında kullanılacak Radyo Frekansı (RF) bozuklukları modelinin oluşturulmasına yönelik bilgisayar destekli bir yöntem ve bu modele göre tasarlanan iletim sistemi ile ilgilidir.

ABSTRACT

A METHOD FOR GENERATING RADIO FREQUENCY (RF) IMPAIRMENTS MODEL AND A TRANSMISSION SYSTEM

5

The invention is related to a computer-implemented method for generating Radio Frequency (RF) impairments model to be used to design a transmission system and the transmission system designed according to the model.

İSTEMLER

1. Birbirleriyle iletişim kuran bir verici zincirine (Txc) ve bir alıcı zincirine (Rxc) sahip bir iletişim sistemi için Radyo Frekansı (RF) bozulma modelinin oluşturulmasına yönelik
5 bilgisayar ortamında uygulanan bir yöntem olup, verici zincirinde (Txc) önceden tanımlanmış parametrelerle oluşturulan sinyalin alıcı zinciri (Rxc) tarafından alınması, alınan sinyalin iletilen sinyal ile senkronize edilmesi, bozulmuş bir sinyalin tespit edilmesi ve bir bozulma ve hatanın tespit edilmesi, önceden tanımlanmış parametrelerin, iletilen sinyalin, bozulmuş sinyalin ve bozulmanın ve hatanın sembolik regresyon bloğuna beslenmesi, ve
10 sembolik regresyon bloğu tarafından ile bir Radyo Frekansı (RF) bozulma modelinin elde edilmesi ile karakterize edilmektedir.
2. Ayrıca alınan sinyali iletilen sinyalle senkronize eden alıcı zinciri (Rxc) tarafından verici zincirinde (Txc) bilinen bir dizinin alınması aşamasını içermesi ile karakterize edilen,
15 İstem 1'e göre bir yöntem.
3. Önceden tanımlanmış parametrelerin, çalışma frekansı, örnekleme hızı, sembol süresi, modülasyon sırası, filtre tipi, filtre parametreleri veya bir sinyaldeki bozulmaları ayırt etmek için kullanılabilen herhangi bir parametreden en az biri olduğu, İstem 1'e göre bir
20 yöntem.
4. Sembolik regresyon bloğunun hem bireysel hem de birleşik bozukluklara karşı performansı artırmak için model oluşturmak üzere eğitildiği, İstem 1'e göre bir yöntem.
- 25 5. Bozulmanın, Faz Gürültüsü (PN), faz içi (I) ve karesel (Q) sinyal bileşenleri, Kazanç Dengesizliği, Karesel Dengeleme (QO), Frekans Dengelemesi (FO) ve Güç Amplifikatörünün doğrusal olmama durumlarından en az biri olduğu, İstem 1'e göre bir yöntem.
- 30 6. İstem 1 ila 5'ten herhangi birine göre yöntemin adımlarını gerçekleştirmeye yönelik araçlar içeren bir veri işleme cihazı.

7. Program bir bilgisayar tarafından çalıştırıldığında bilgisayarın İstem 1 ile 3'ten herhangi birine göre yöntemin adımlarını gerçekleştirmesini sağlayan talimatlar içeren bir bilgisayar programı.
- 5 8. Bir bilgisayar tarafından yürütüldüğünde bilgisayarın İstem 1 ile 5'ten herhangi birine göre yöntemin adımlarını gerçekleştirmesini sağlayan talimatları içeren, bilgisayarda okunabilen bir ortam.
- 10 9. İstem 1 ile 5'ten herhangi birine göre oluşturulan Radyo Frekansı (RF) bozulma modeline göre tasarlanmış bir iletim sistemi.

CLAIMS

1. A computer-implemented method for generating Radio Frequency (RF) impairments model for a transmission system having a transmitter chain (Txc) and a receiver chain (Rxc) communicates with each other, characterized by receiving the signal generated by predefined parameters at the transmitter chain (Txc) by the receiver chain (Rxc), synchronizing the received signal with the transmitted signal, detecting an impaired signal and detecting an impairment and an error, feeding the predefined parameters, the transmitted signal, the impaired signal and the impairment and the error to a symbolic regression block and obtaining a Radio Frequency (RF) impairments model by the Symbolic regression block.
2. A method according to Claim 1, characterized by further comprising step of receiving a known sequence at the transmitter chain (Txc) by the receiver chain (Rxc) synchronizing the received signal with the transmitted signal.
3. A method according to Claim 1, wherein the predefined parameters are at least one of operating frequency, sampling rate, symbol duration, modulation order, filter type, filter parameters. Or any parameter that can be used to distinguish impairments in a signal.
4. A method according to Claim 1, wherein the Symbolic regression block is trained to be generate model for improve performance against the both induvial and combined impairments.
5. A method according to Claim 1, wherein the impairment is at least one of Phase Noise (PN), in-phase (I) and quadrature (Q) signal components, Gain Imbalance, Quadrature Offset (QO), Frequency Offset (FO), and Power Amplifier non-linearities
6. A data processing device comprising means for carrying out the steps of the method of any of claim 1 to 5.
7. A computer program comprising instructions which, when the program is executed by a computer, cause the computer to carry carrying out the steps of the method of any of claim 1 to 3.

8. A computer-readable medium comprising instructions which, when executed by a computer, cause the computer to carry out the steps of the method of any of claim 1 to 5.

5

9. A transmission system designed according to a Radio Frequency (RF) impairments model generated according to any of claim 1 to 5.

TARİFNAME

RADYO FREKANS (RF) BOZUKLUKLARI MODELİNİN OLUŞTURULMASINA YÖNELİK BİR YÖNTEM VE BİR İLETİM SİSTEMİ

5

Teknik Alan

Buluş, bir iletim sisteminin tasarımında kullanılacak Radyo Frekansı (RF) bozuklukları modelinin oluşturulmasına yönelik bilgisayar destekli bir yöntem ve bu modele göre tasarlanan iletim sistemi ile ilgilidir.

10

Önceki Teknik

Kablosuz cihazların hızla büyümesi ve sanal/artırılmış gerçeklik ve Nesnelerin İnterneti (IoT) dâhil olmak üzere kablosuz hizmetlerin artan çeşitliliği, yeni nesil kablosuz ağlar için benzeri görülmemiş zorluklar doğurmaktadır. Bu zorluklar, IoT cihazları gibi uygun maliyetli cihazlara olan talebin yanı sıra, çeşitli veri trafiği, devasa cihaz bağlantısı, ultra yüksek bant genişliği verimliliği ve ultra düşük gecikme gereksinimleri gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Maliyetleri azaltmak için şirketler genellikle bu cihazların Radyo Frekansı (RF) zincirlerinde düşük maliyetli bileşenleri tercih etmektedir. Bununla birlikte, RF zincirlerinde bu ucuz bileşenlerin kullanılması, iletişim ve algılama performansında önemli aksaklıklara neden olan kablosuz ortam etkilerine ek olarak ciddi bozulmalara ve sinyal bozulmalarına yol açmaktadır. Bu, 6G gibi yeni gelişen teknolojilerin katı gereksinimleriyle önemli bir çelişki teşkil etmektedir.

25

Kablosuz iletişim teknolojilerini ilerletme arayışındaki araştırmalarımız, gerçek dünyadaki zorluklara yönelik yenilikçi çözümler geliştirmeyi içermektedir. Kanal bozukluklarını dikkate alan simülasyonlar ve saha ölçümlerine dayalı oluşturulan modeller aracılığıyla birçok sorun çözülürken, bazı simülasyonlar donanım bozukluklarına daha yakından bakmayı gerektirmektedir. Bu durumlarda, RF sorunlarının kolektif etkisini kapsama konusunda her zaman tamamen doğru veya kapsamlı olmayabilecek mevcut modelleri kullanırız.

30

Geleneksel olarak, RF bozulmalarının modellenmesi, her bir bozulma türü için ayrı modellerin oluşturulmasını içerdi. Bu bozuklukların toplu olarak sistem performansını nasıl

etkilediğini anlamak, hantal ve daha az doğru bir yaklaşıma neden olan çeşitli araçların ve ölçümlerin kullanılmasını gerektirdi. Farklı bozukluklar arasındaki karmaşık etkileşimleri temsil etmedeki kesinlik eksikliği, birleşik RF bozulma modelinin doğruluğunu daha da engelledi.

5

Önceki teknikte, RF bozulma modellemesi ağırlıklı olarak, kara kutu modelleri olarak da adlandırılabilen, ölçüm bazlı veya yapay zekâ bazlı geleneksel yöntemlere dayandı. Ölçüme dayalı modeller, güç amplifikatörünün doğrusal olmayan özelliklerinin modellenmesi gibi ölçümlerin kullanılmasını içermektedir [1]. Faz Gürültüsü ve Zaman Değişimi de matematiksel yaklaşımlar kullanılarak modellenenmektedir [8].

10

Deneyisel ölçümlerden (Saha) türetilen mevcut modeller, farklı bozukluklar arasındaki etkileşimleri aşırı basitleştirme veya her şeyi bir kara kutu yapay zekâ modelinde temsil ederek bu etkileşimi karmaşıklaştırma eğilimindeydi. Bu modellerdeki doğruluk eksikliği veya karmaşıklık, RF bozukluklarının sistem performansı üzerindeki kolektif etkisinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını zorlaştırdı ve genellemeyi de zorlu hale getirdi. Bunun aksine yapay zekâ odaklı modeller, altta yatan prosesleri anlama konusunda şeffaflıktan yoksun olabilmektedir.

15

Salah vd.[1] çalışmasında açıklanan güç amplifikatörü doğrusal olmayan durumlarının modellenmesi gibi ölçümlerin kullanılması. Yapay zekâ kullanımı, bu bozulmaları kod çözme açısından inceleyen ve bunların kod çözme prosesleri üzerindeki etkilerini vurgulayan Fernandez vd.[2] ve Sygletos vd.[3] çalışmalarında olduğu gibi, bu bozukluklara bakmanın başka bir yönüdür. Bunun aksine, Jaraut ve diğerleri [4] ve Paul ve diğerleri [5] ön bozulma, donanım sorunu tanımlama ve kimlik doğrulama dâhil olmak üzere bu bozulmalardan farklı amaçlar için yararlanmayı araştırmaktadır. Özellikle Fernandez vd. [2] ve Sygletos ve diğerlerinin [3] çalışma bağlamına göre öncelikli amaç, bu bozuklukların alıcı üzerindeki etkisini ortadan kaldırarak tahmin prosedürlerini gereksiz kılmaktır. Buna ilaveten, Mohammadian vd. [6] ve Aygöl vd. [7] RF bozukluklarının birleşik etkisine bakmak için derin öğrenmeyi kullandılar. Ancak daha önce bahsedilen yöntemler birleşik RF bozukluklarına matematiksel bir model verme eğiliminde değildir.

25

30

Donanım bozukluklarını simülasyonlara dâhil etmek için bazı girişimlerde bulunuldu, ancak bu modeller tamamen doğru değildi ve RF bozukluklarının genel etkisini yakalamada yetersiz kalmıştır.

- 5 Görülebileceği gibi, özellikle çeşitli RF bozukluklarının birleşik etkilerinin anlaşılması söz konusu olduğunda, geleneksel yöntemler doğruluk ve verimlilik konusunda mücadele verdi. Bu yöntemlerin sınırlamaları, daha gelişmiş ve kapsamlı bir çözüme olan ihtiyacın altını çizmiştir.
- 10 Sonuç olarak yukarıda sayılan tüm sorunlar ilgili alanda bir yenilik sağlanmasını zorunlu hale getirmiştir.

Buluşun Kısa Açıklaması ve Amaçları

- 15 Mevcut buluşun temel amacı, farklı bozukluklar arasındaki etkileşimleri basitleştirmeden ve şeffaflığı artırarak doğruluğu artırılmış analitik bir model oluşturan bir yöntem oluşturmak ve bu modele göre bir iletim sistemi tasarlamaktır.

- 20 Mevcut buluşun bir başka amacı, sistem tasarımı ve işletiminde daha bilinçli karar almayı kolaylaştırmak için RF bozulmalarının daha incelikli ve kapsamlı bir analizini mümkün kılmaktır.

- Mevcut buluşun bir başka amacı, RF bozukluklarının toplu olarak sistem performansını nasıl etkilediğinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlayan bir yöntem oluşturmaktır.

- 25 Mevcut buluşun bir diğer amacı, verilerden doğrudan analitik denklemler türeterek her bir bozulma için ayrı modellere olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktır.

- 30 Mevcut buluşun diğer bir amacı, sinyal anormalliklerinin doğru şekilde tanımlanmasını kolaylaştırmak ve bozulmamış sinyalin kurtarılmasına yardımcı olmaktır.

Böyle bir amaca ulaşmak için buluşun yöntemi, gerçek alıcı-verici verilerinden analitik denklemleri doğrudan türeten, makine öğrenimine dayalı bir regresyon yöntemi olan Sembolik Regresyon (SR) kullanmaktadır. Bu, hassasiyeti artırmaktadır ve geleneksel

modellerde görülen aşırı basitleştirmenin üstesinden gelerek birleşik bozuklukların şeffaf bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır. Ek olarak, birleşik etkilerin temsil edilmesindeki verimsizlik, bozukluklar arasındaki karmaşık etkileşimlerin kabul edilmesi ve RF sistemlerinin karmaşıklığını gerçek anlamda yansıtan bir model sunulmasıyla SR aracılığıyla 5 çözülmüştür. Eş zamanlı olarak, donanım bozukluklarının dâhil edilmesindeki zorluklar, SR ile modelleme prosesini basitleştirme, ayrı modellere olan ihtiyacı ortadan kaldırma ve genel verimliliği artırma ile ele alınmaktadır. Bu yaklaşım, geleneksel RF bozulma modelleme yöntemlerinin ortaya çıkardığı zorluklara kapsamlı ve doğru bir çözüm sunarak, RF sistem davranışının daha gerçekçi bir şekilde temsil edilmesini sağlamaktadır.

10

Daha açık bir ifadeyle, iletilen sinyalin ve sinyalin kendisinin önceden tanımlanmış parametreleri, bozulmuş sinyal ve iletilen ve alınan verilere göre belirlenen bozulma ve hata, buluşta bir Radyo Frekansı (RF) bozulma modeli elde etmek için sembolik bir regresyon bloğuna dönüştürülmektedir.

15

Buluşun Şekillerinin Açıklaması

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

20

Şekil 1. Şematik görünüm, dijital radyo sisteminin temel bileşenlerini temsil etmektedir.

Şekil 2. Bir akış şeması, mevcut buluşun yöntemini temsil etmektedir.

Şekil 3. Buluşun oluşturulan modelleri ile gerçek dünyada kullanılan modelin karşılaştırılması.

25

Referans Numaralar

Şekillerde verilen parça ve bileşenlere, buluşun konusunun daha iyi anlaşılabilmesi için değinilmiştir.

30

101. İşleme birimi

102a. Dijitalden analoga dönüştürücü

102b. Analogdan dijitale dönüştürücü

103. Filtre

- 104. Modölatör bloğu
- 105. Radyo Ön bloğu
- 106a. IF yerel osilatör
- 106b. RF yerel osilatör
- 5 107. Mikser
- 108 I/Q modölatörü
- 109. Birleştirici
- 110. Güç amplifikatörü
- 111. Verici anteni
- 10 112. Ortam
- 113. Alıcı anteni
- 114. Düşük gürültülü amplifikatör
- Txc. Verici zinciri
- Rxc. Alıcı zinciri
- 15 201. Parametrelerin tanımlanması
- 202. Sinyalin oluşturulması
- 203. Sinyalin verici zincirinden geçirilmesi
- 204. Sinyalin kanal üzerinden iletilmesi
- 205. Alıcı zincirinden sinyalin alınması
- 20 206. Zaman senkronizasyonu
- 207. Bozulmuş sinyalin tespit edilmesi
- 208. Bozukluęın tespit edilmesi
- 209. Hatanın tespit edilmesi
- 210. Sembolik regresyon bloğunun girilmesi
- 25 211. Modelin Oluşturulması

Buluşun Ayrıntılı Açıklaması

Buluş, bir iletim sisteminin tasarımında kullanılacak Radyo Frekansı (RF) bozuklukları
30 modelinin oluşturulmasına yönelik bilgisayar destekli bir yöntem ve bu modele göre tasarlanan iletim sistemi ile ilgilidir.

Dijital radyo iletim sistemlerinde Radyo Frekansı (RF) bozuklukları meydana gelmektedir.
Dijital radyo iletim sistemleri, en az bir verici antene (111) sahip en az bir verici zinciri (Txc)

ve en az bir alıcı antene (113) sahip en az bir alıcı zinciri (Rxc) içermektedir. Verici zinciri (Txc), bir dijital sinyalin üretilmesi için araçlar ve dijital sinyali bir analog sinyale dönüştürmek için dönüştürme araçları içermektedir. Alıcı zinciri (Rxc), alınan analog sinyali dijital bir sinyale dönüştürmek için dönüştürme araçları içermektedir. Ayrıca, dijital radyo iletim sistemi aynı zamanda parametreleri almak ve sembolik bir regresyon bloğuna beslemek ve Radyo Frekansı (RF) bozulma modeli oluşturmak için sembolik regresyon bloğunu yürütmek için bir işleme cihazı içermektedir (daha sonra açıklanacaktır).

Verici anten (111) ve alıcı anten (113), elektrik sinyalleri ile elektromanyetik dalgalar arasında arayüz görevi görmektedir, antenler sinyal yayılımında hayati bir rol oynamaktadır. Bant genişliği, kazanç ve radyasyon düzeni gibi çeşitli performans parametreleri anten özelliklerini tanımlamaktadır. Yönlü antenler ve hüzme oluşturma, yol kaybının şiddetli olduğu yüksek frekanslarda özellikle önemli hale gelmektedir.

Şekil 1, bir dijital radyo iletim sisteminin bileşenlerini göstermektedir. Bileşen, Şekil 1'de gösterilenden farklı şekilde konfigüre edilebilmektedir veya bazı bileşenler sistemden çıkarılabilmektedir.

Verici zinciri (Txc) tarafında bir dijital işleme birimi (101) sağlandı. Dijital işleme birimi (101), daha sonra alıcı zincirine (Rxc) iletilen bir dijital sinyal üretme işlevine sahiptir. Dijital işleme birimi (101), önceden belirlenen parametrelere göre sinyal üretecek şekilde konfigüre edildi. Önceden belirlenen parametreler çalışma frekansı, örnekleme hızı, sembol süresi, modülasyon sırası, filtre tipi, filtre parametreleri arasından seçilebilmektedir.

Dijital işleme birimi (101) tercihen, dalga biçimi spesifikasyonlarını ve standart gereklilikleri karşılamak üzere özelleştirilmiş Faz İçi (I) ve Dörtlü Faz (Q) kanalları oluşturmaktadır.

Dijital işleme birimi (101) tarafından oluşturulan dijital sinyal, bir dijitalden analoğa dönüştürücü (102a) tarafından dijitalden analoğa dönüştürülmektedir ve filtrelenmiş I/Q analog sinyalleri ile sonuçlanan bir çapraz filtre (103) tarafından filtrelenmektedir. Dönüştürücünün çözünürlüğü, yüksek bit çözünürlükleri daha ince ayrıntılar sağlayan bit sayısı ile tanımlanmaktadır. Filtre (103) filtreleri, istenmeyen sinyalleri bloke ederken istenilen sinyalleri izole etmektedir. Mükemmel filtreler (103) geçiş bandı içinde düz bir tepki

ve durdurma bandında sonsuz zayıflama sergilerken, pratik filtreler kademeli bir kayma, geçiş bandı dalgalanmaları ve durdurma bandı sızıntısı sergilemektedir.

5 Verici zinciri (Txc) bir modülatör bloğuna (104) sahiptir ve filtrelenen I/Q analog sinyal sinyalleri, bir I/Q modülatör bloğunda (104) modülasyona maruz kalmaktadır. Modülatör bloğu (104), IF (Ara Frekanslar) yerel osilatörünü (106a) ve bir mikseri (107) içermektedir.

IF yerel osilatörü (106a), Ara Frekanslarda Faz İçi ve Dört Fazlı taşıyıcıları şekillendirmektedir.

10

Modülatör bloğunda (104) en az bir, tercihen iki mikser (107) sağlanmaktadır. Mikserler (107) bileşenleri, IF yerel osilatörünü (106a) kullanarak sinyal çoğaltma yoluyla frekans çevirisini kolaylaştırmaktadır. Sonraki filtreleme, yukarı dönüşüme (daha yüksek frekans) veya aşağı dönüşüme (düşük frekans) izin vererek istenen çıkış frekansını seçmektedir.

15

Modülatör bloktan (104) elde edilen gerçek (Aynı fazlı) ve hayali (Dörtlü-Fazlı) sinüzoidal sinyalleri toplamak için bir birleştirici (109) sağlanmaktadır.

Ayrıca birleştiriciden (109) ve filtrelenen sinyalden sonra konumlandırılan başka bir filtre (103) içeren verici zinciri (Txc), RF yerel osilatör (106b), bir mikser (107) ve bir güç amplifikatörü (110) içeren radyo ön bloğuna (105) iletilmektedir. IF yerel osilatörü (106a) ve RF yerel osilatörü (106b), frekans dönüşümüne olanak sağlayan mikser (107) işlemleri için çok önemli olan periyodik sinüzoidal dalgaların oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır. Alıcı-vericinin frekansının kesinliği, bu IF yerel osilatörün (106a) ve RF yerel osilatörün (106b) doğruluğuna ve kararlılığına bağlıdır. Alım sırasında taşıyıcı senkronizasyonundaki herhangi bir bozulma, sabit veya kademeli olarak değişen faz hatalarına yol açabilmektedir ve çoğunlukla temel bant işleme yoluyla düzeltilebilmektedir. Kısa vadeli osilasyon kararsızlıkları, hem verici zincirinin (Txc) hem de alıcı zincirinin (Rxc) RF performansı üzerinde önemli bir etki yaratan faz gürültüsü olarak ortaya çıkmaktadır.

30

RF yerel osilatöre (106b) iletilen sinyal, başka bir filtreye (103) ve verici antenine (111) bağlı olan bir güç amplifikatörüne (110) gitmektedir. Verici anten (111), RF sinyalini bir ortam (112) aracılığıyla alıcı zincirine (Rxc) iletmektedir.

Ortam (112), tüm yapılandırmalar için kablosuz bir kanal veya bir kablo olabilmektedir.

RF sinyali alıcı anten (113) tarafından alınmaktadır ve alınan sinyal filtrelenerek Düşük Gürültülü Amplifikatöre (114) gönderilmektedir.

5

Güç amplifikatörü (110) ve düşük gürültülü amplifikatör (114) sinyal amplifikasyonuna katkıda bulunmaktadır. Güç amplifikatörü (110) iletim için sinyalleri güçlendirirken düşük gürültülü amplifikatör (114), minimum gürültüyle düşük seviyeli sinyalleri geliştirmeye odaklanmaktadır. Amplifikatörlerin doğrusal olmayan davranışı, sinyal kalitesini etkileyebilmektedir ve bitişik kanal güç oranı (ACPR) ile karakterize edildiği gibi, bitişik kanallara yasal olarak sınırlı sinyal sızıntısına neden olabilmektedir. ACPR, istenen kanaldan bitişik kanallara güç sızıntısının bir ölçüsüdür. Parazit düzeyini ölçmektedir ve iletilen sinyallerin kalitesini değerlendirmek için çok önemlidir.

10

15 Dijitalden Analoga Dönüştürücü (102a), Analogdan Dijitale Dönüştürücü (102b), analog sinyalleri dijitale dönüştüren ADC ve bunun tersini gerçekleştiren DAC ile analog ve dijital alanlar arasında köprü kurmaktadır.

20

Sinyal mikser (107) vasıtasıyla başka bir filtreye aktarılmaktadır, ve alıcı zincirinin (Rxc) modülatör bloğuna (104) gönderilmektedir, ve başka bir filtre tarafından filtrelenmektedir ve son olarak, alıcı zincirinin (Rxc) bir işleme birimine (101) ulaşmadan önce bir analogdan dijitale dönüştürücü (102b) tarafından dijitalden analoğa dönüştürülmektedir.

25

İşleme birimi (101), radyo işlevlerinin uygulanmasına yönelik donanım platformları olarak hizmet etmektedir, DSP'ler ve FPGA'ler, dijital sinyal işleme tekniklerini kullanmaktadır. FPGA'ler çeşitli mantık kaynaklarına sahip konfigüre edilebilir donanım sunarken DSP'ler, DSP algoritmaları için optimize edilmiş özel işlemcilerdir.

30

Mevcut buluşun yönteminde, yöntem için kullanılan dijital sinyal, verici zincirinin (Txc) işleme birimi (101) tarafından oluşturulmaktadır. Sinyal oluşturma (202), tüm parametrelerin önceden tanımlandığı (201) çalışma frekansı, örnekleme hızı, sembol süresi, modülasyon sırası, filtre tipi, filtre parametreleri gibi önceden belirlenmiş parametrelere göre gerçekleştirilmektedir. Sinyal, verici zincirinden (203) geçirilmektedir ve kablosuz kanal (204) üzerinden iletilmektedir. Proses sırasında dijital sinyal, verici anten (111) tarafından

gönderilmeden önce analog sinyale dönüştürülmektedir. Tercihen iletilen sinyal, QAM sembollerine sahip tek bir taşıyıcıdır ve alıcı zinciri (Rxc) tarafındaki bozuklukların tanımlanmasına hizmet etmektedir.

- 5 İletilen analog sinyalin alıcı anten (205) tarafından alınmasından sonra, alınan sinyal zaman senkronize edilmektedir.

Tercihen verici zincirinin (Txc) iki tarafında bilinen bir dizi oluşturulabilmektedir. Bilinen dizi, zaman ve frekans senkronizasyonu için kullanılmaktadır ve alıcı zinciri (Rxc) tarafındaki RF bozulmalarını tespit etmek için kullanılmaktadır.

Senkronizasyon sonrasında, bozulmuş sinyalin (206) tespiti, alınan sinyal ile iletilen sinyal karşılaştırılarak gerçekleştirilmektedir ve bozukluklar tespit edilmektedir, dolayısıyla alınan sinyalin bozuk sinyal olduğunu söyleyebiliriz.

15

Verici zincirinde üretilen sinyal (Txc) ve bozulmuş sinyal (206), bir bozulmanın (207) belirlenmesi ve bir hatanın (208) belirlenmesi için, alınan sinyal ile iletilen sinyal karşılaştırılarak hatalar tespit edilmektedir.

- 20 Bozulmanın (207) ve bir hatanın (208) belirlenmesi için verici zincirinde üretilen sinyalin (Txc) ve bozulmuş sinyalin (206) karşılaştırılması kullanılabilir. Karşılaştırma için birçok teknik kullanılabilir. Örneğin korelasyon bazlı, Maksimum olasılık tahmini, Faz kilitli döngüler PLL, bilinen diziyi alınan diziyle karşılaştırarak makine öğrenme teknikleri, frekans kaymasını, IQ dengesizliğini, faz gürültüsünü ve titreşimi, Doğrusal olmayan bozulmaları tahmin etmek için kullanılabilir.

25

Son olarak, sinyal üretmek için kullanılan önceden tanımlanmış parametreler, iletilen sinyal, bozulmuş sinyal ve bozulma ve hata, Radyo Frekansı (RF) bozulma modelinin (211) oluşturulmasına yönelik bir Sembolik regresyon bloğuna (210) girilmektedir/beslenmektedir.

- 30 Sembolik regresyon bloğu Faz Gürültüsü (PN), faz içi (I) ve karesel (Q) sinyal bileşenleri, Kazanç Dengesizliği, Dörtlü Ofset (QO), Frekans Ofseti (FO) ve Güç Amplifikatörü doğrusalsızlıkları gibi hem bireysel hem de birleşik RF bozulma etkileri için bir model oluşturmak üzere eğitilmiştir. Her bozukluk, kendine özgü davranışının kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamak için titizlikle modellenmiştir.

En önemlisi, bu bozuklukların birleşik modellemesi, bireysel modellerin basit bir toplamının ötesine geçmektedir. Yaklaşım, RF sistemlerinin gerçek karmaşıklığını daha iyi yansıtan birleştirilmiş bir model ile sonuçlanan farklı bozukluklar arasındaki karmaşık etkileşimleri tanımlamaktadır ve birleştirmektedir.

Bu buluş yalnızca RF bozuklukları için doğru modeller sunmakla kalmaz, aynı zamanda tüm prosesi basitleştirerek bu bozuklukların toplu olarak sistem performansını nasıl etkilediğine dair daha kapsamlı bir anlayış sunar.

RF zincirindeki en kritik bileşenlerden biri güç amplifikatörüdür (PA). Bir sinyalin yayılma mesafesini arttırmak için onu yükseltmek için PA kullanılmaktadır. Böylece istenilen spektral verime ulaşılabilir. Ancak PA giriş gücünün artırılması, doğrusal olmayan durumlara neden olabilecek giriş ve çıkış gücünün doğrusal aralığının aşılmasına ve sinyal bozulması olarak yorumlanabilecek ve iletişim sistemi performansında ciddi bozulmaya yol açabilecek sinyaldeki kırpmaya yol açabilmektedir. Bu doğrusal olmama durumlarıyla mücadele etmek için öncelikle davranışı anlamak ve onu matematiksel bir denklemle temsil etmek önemlidir.

PA doğrusal olmayan durumlarını modellemeye yönelik ilk ve ünlü girişimlerden biri, gerçek amplifikatörler üzerindeki deneysel sonuçlarla incelenen Saleh'in modelidir (ref). Çalışmasından seçilen bir model [ref] aşağıdaki şekildedir: $P(r) = \alpha_p r / (1 + \beta_p r^2)$ ve $Q(r) = \alpha_q r^3 / (1 + \beta_q r^2)^2$

Burada $r(t)$, giriş sinyalinin zarfını temsil etmektedir $s_{in}(t) = r(t)\cos(2\pi f_c t + \varphi(t))$ ve f_c taşıyıcı frekansıdır ve $\varphi(t)$ giriş sinyalinin fazıdır. PA çıkışı, $s_{out}(t)$ şu şekilde yazılabilmektedir: $s_{out}(t) = P(r(t))\cos(2\pi f_c t + \varphi(t) + Q(r(t)))$

Örnek olarak, verileri oluşturmaya yönelik model bir python betiğinde kullanılmaktadır ve verileri aşağıdaki parametrelerin sembolik bir regresörüne vermektedir: "population_size"=5000, "generations"=20, "stopping_criteria"=0.000001. Burada "population_size" sembolik bir regresörün başlangıçta ürettiği sözde rastgele denklemlerin sayısıdır, "generations", doğru ancak basit bir modele yaklaşmak için durmadan önce yapılması gereken jenerasyon sayısıdır ve "stopping_criteria", jenerasyon sayısı

tamamlanmadan bile durdurulması gereken ortalama karesel hatanın eşik değeridir. Verilen değerler buluş için bir sınırlama olarak yorumlanamaz. Teknikte uzman kişinin modeli farklı durumlara uyarlaması için farklı değerlerin kullanılması açıktır.

- 5 SR modelini seçilen bir modelin oluşturulan verileri üzerinde eğittikten sonra:

$$P(r) = 2.1578 r / (1 + 1.1517 r^2)$$

Farklı sayıda jenerasyon seçerek 2 model elde ettik:

10

$$P_1(r) = 1.85873605947955 r / (0.848 + 1 r^2)$$

$$P_2(r) = 1.9996525949993265 r / (0.9263226145315 + 1.066845726468 r^2)$$

- 15 Şekil 3, buluşun oluşturulan modelleri ile gerçek dünyada kullanılan modelin karşılaştırılmasını göstermektedir. Grafikte görülebileceği gibi, buluşun oluşturulan modellerinde doğrusal olmama durumları büyük ölçüde azaltılmıştır.

- 20 Buluşun bir diğer yönü yukarıda bahsedilen yöntemlerle elde edilen modele göre bir iletim sisteminin tasarlanmasıdır. İletim sisteminin araçları veya parametreleri (verici zincirinin (Txc) ve alıcı zincirinin (Rxc) her ikisi veya biri için) bozukluklara karşı performansı iyileştirmek üzere modele göre ayarlanabilmektedir, konfigüre edilebilmektedir veya kaldırılabilir.

- 25 Buluşun diğer bir yönü böyle bir modelin üretilmesine yönelik bir sistemdir. Sistem verici zincirini (Txc) ve alıcı zincirini (Rxc) içermektedir. Verici zinciri (Txc), sinyal oluşturmak için bir işleme birimi (101), bir dijital analog dönüştürücü (102a), dönüştürücüye bağlı bir filtre (103) ve yukarıdaki yapılandırmalara göre bir modülatör bloğu (104) ve radyo ön bloğuna (105) bağlanan başka bir filtre (103) içermektedir.

30

Verici en az bir verici anteni (111) içermektedir veya alıcı zincirine (Rxc) veri göndermek için kablolu bağlantı, söz konusu verileri ve radyo ön bloğunu (105) almak için en az bir alıcı

anteni (113) veya kablolu bağlantı ve bir modölatör bloğu (104) ve aralarına bağlanan bir analogdan dijitale dönüştürücü (102b) ve filtreler (103) içermektedir.

REFERANSLAR

5

[1] Saleh, A.A., 1981. Frequency-independent and frequency-dependent nonlinear models of TWT amplifiers. IEEE Transactions on communications, 29(11), pp.1715-1720.

[2] Fernández, E.A., Soto, A.M.C., Gonzalez, N.G., Serafino, G., Ghelfi, P. and Bogoni, A., 2019. Machine learning techniques to mitigate nonlinear phase noise in moderate baud rate optical communication systems. In Intelligent Syst. Comput. IntechOpen.

[3] Sygletos, S., Redyuk, A. and Sidelnikov, O., 2019, July. Nonlinearity compensation techniques using machine learning. In Signal Processing in Photonic Communications (pp. SpT2E-2). Optica Publishing Group.

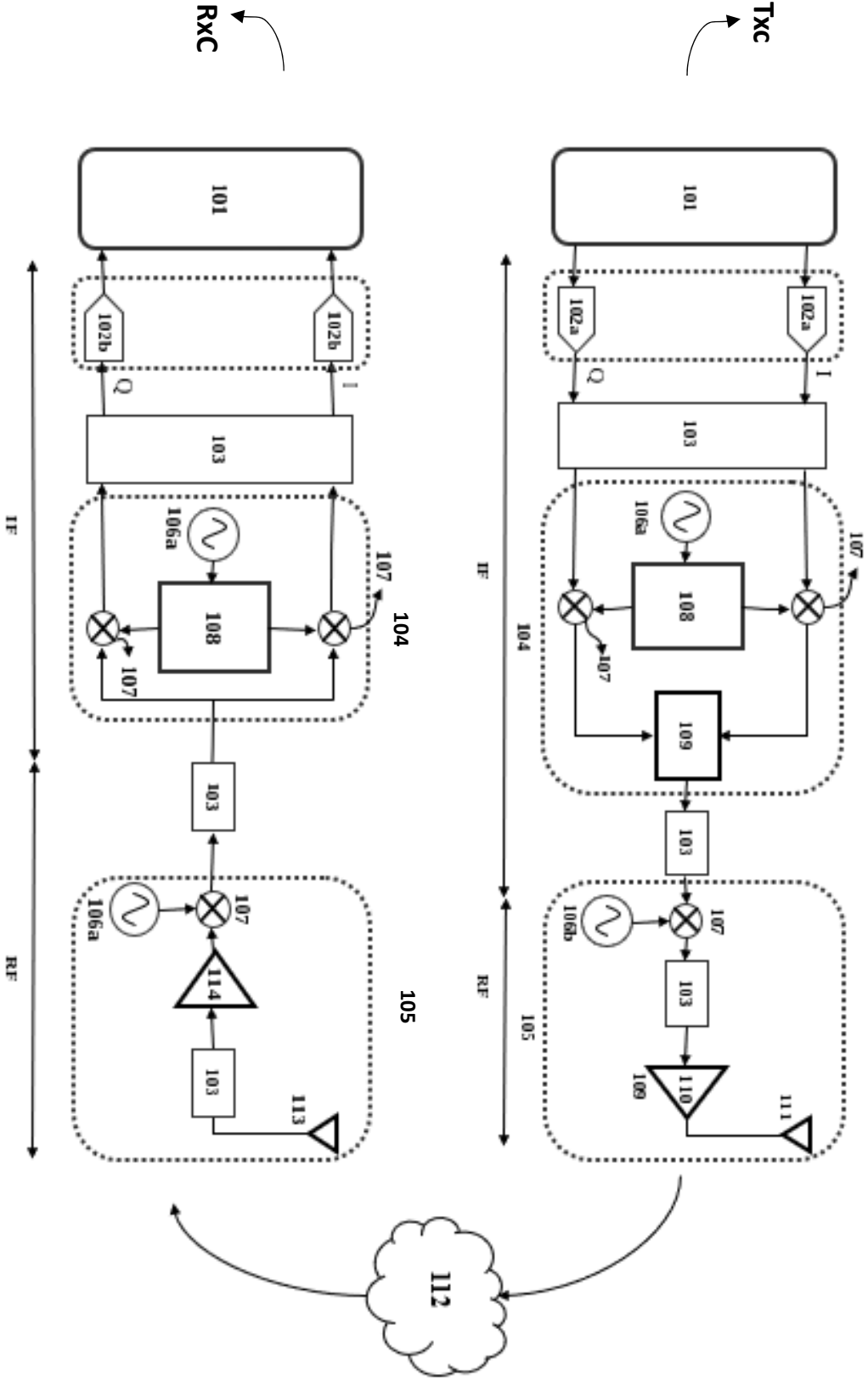
[4] Jaraut, P., Rawat, M. and Ghannouchi, F.M., 2018. Composite neural network digital predistortion model for joint mitigation of crosstalk, i/q imbalance, nonlinearity in MIMO transmitters. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 66(11), pp.5011-5020.

[5] Paul, L.Y., Baras, J.S. and Sadler, B.M., 2008. Physical-layer authentication. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 3(1), pp.38-51.

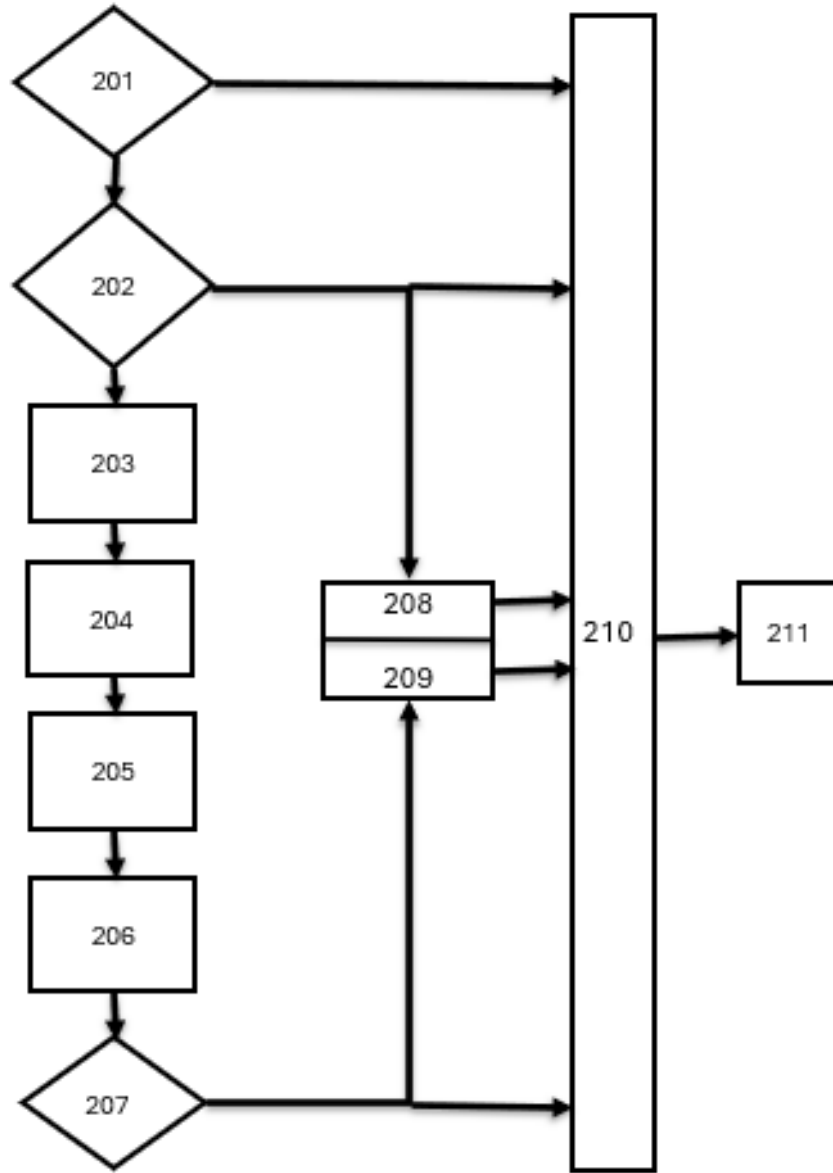
[6] Mohammadian, A., Tellambura, C. and Li, G.Y., 2021. Deep learning LMMSE joint channel, PN, and IQ imbalance estimator for multicarrier MIMO full-duplex systems. IEEE Wireless Communications Letters, 11(1), pp.111-115.

[7] Aygöl, M.A., Memişoğlu, E. and Arslan, H., 2022, April. Joint estimation of multiple RF impairments using deep multi-task learning. In 2022 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) (pp. 2393-2398). IEEE.

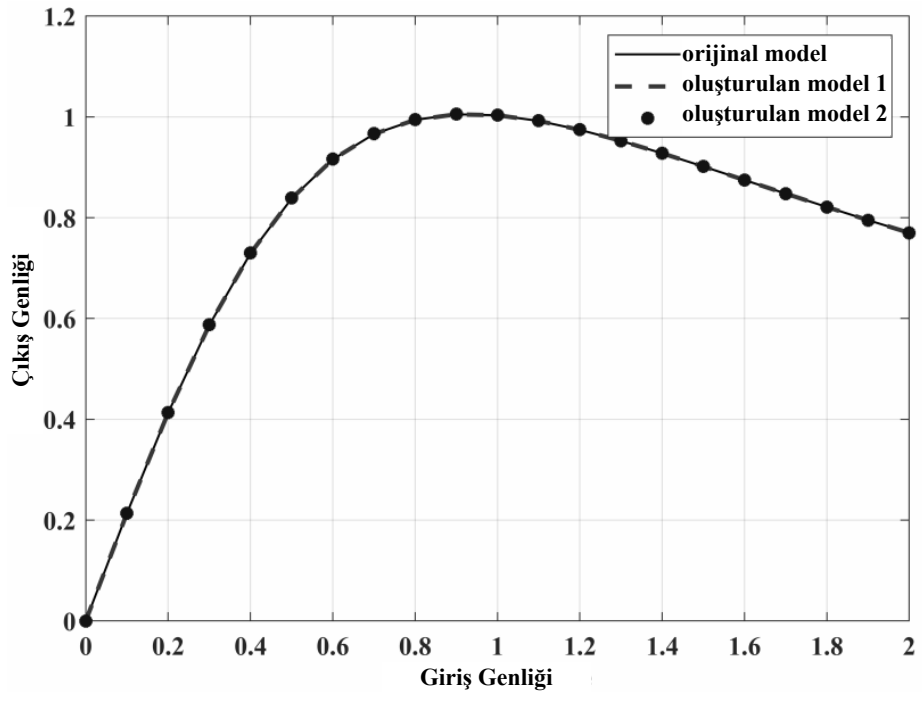
[8] Lee, T.H. and Hajimiri, A., 2000. Oscillator phase noise: A tutorial. IEEE journal of solid-state circuits, 35(3), pp.326-336.



ŞEKİL 1



ŞEKİL 2



ŞEKİL 3

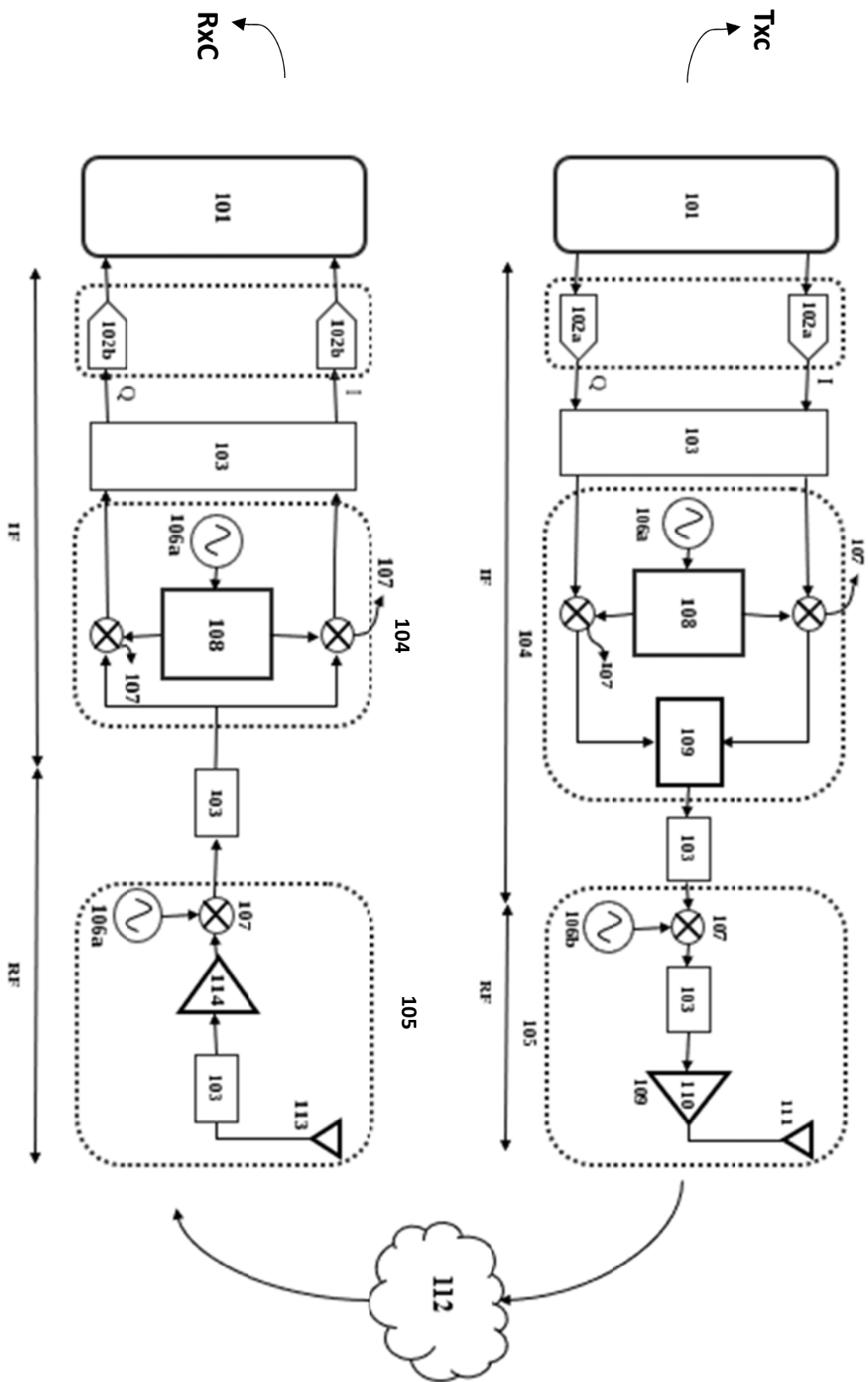


Figure 1

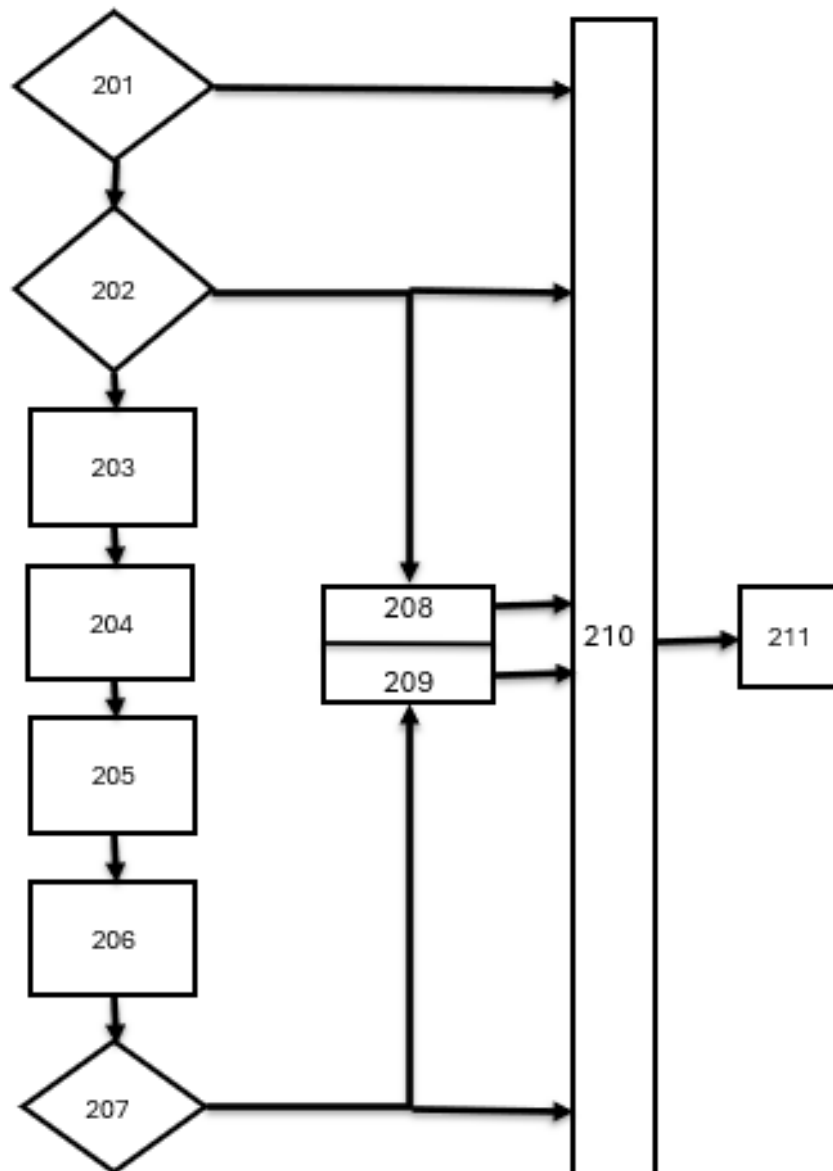
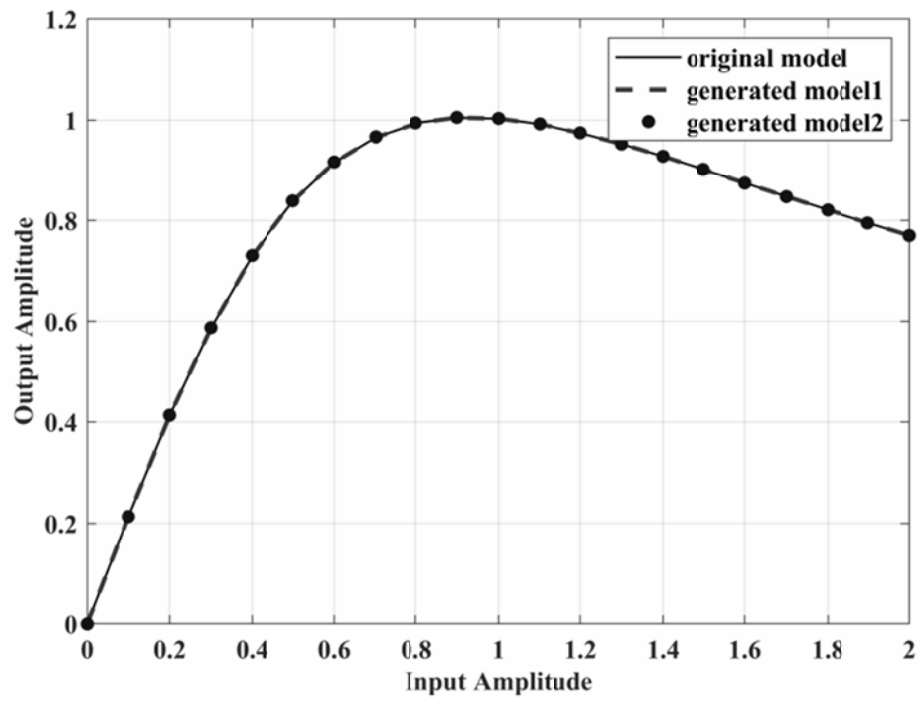


Figure 2

**Figure 3**