

ÖZET**Çok Boyutlu Korelasyondan Yararlanılarak Makine Öğrenmesi ile Spektrum
Doluluk Tahmin Yöntemi**

5 Buluş, makine öğrenmesi tabanlı tahmin modelleri kullanarak ve hiper uzayın çoklu boyutları arasındaki korelasyondan yararlanılarak bilişsel radyo spektrum doluluk tahmini yapan yöntem ile ilgilidir.

İSTEMLER

1. Makine öğrenmesi tabanlı tahmin modelleri kullanarak ve hiper uzayın çoklu boyutları arasındaki korelasyondan yararlanılarak bilişsel radyo spektrum doluluk tahmini kalitesinin artırıldığı yöntem olup, **özelligi**;

- 5
 - veri setinin oluşturmak üzere,
 - o sinyal analizörleri tarafından, güç spektral yoğunluğunun doluluk/boşluk durumu bulunması istenilen frekans aralığındaki her bir frekans değeri için ölçülmesi,
 - o ölçülen yoğunluk verilerinin depolama cihazlarına kaydedilmesi,
- 10
 - o belirli frekans aralığının termal gürültüsü ölçülüp tolerans değeri eklenerek final eşik değerinin hesaplanması,
 - o belirli frekans değeri için ölçülen güç spektral yoğunluklarının eşik değeri ile kıyaslaması yapılarak frekansların doluluk ve boşluklarının belirlenmesi,
- 15
 - o makine öğrenmesinin eğitim ve test aşamasında kullanılacak olan ve girdi vektör uzunluğunu ifade eden adım sayısının belirlenmesi,
 - o t zaman ve k adım sayısı olmak üzere ve $(t-k)$ 'daki değerden t 'ye kadar olan her bir nokta vektörün bir elemanını temsil edecek şekilde $k+1$ uzunluğunda vektör elde edilmesi,
- 20
 - doluluk tahmini yapmak üzere,
 - o $t+1$ anındaki nokta test çıktısını ve elde edilen $k+1$ uzunluğundaki vektör test girdisi olmak üzere, bu çıktı ve girdi kullanılarak giriş değerlerine göre hangi çıkış değerlerinin geleceğinin evrişimli sinir ağının eğitilerek öğretilmesi,
- 25
 - o test aşamasında tahmin edilmek istenen değer için giriş verileri eğitilmiş makine öğrenmesine verilmesi ve eğitilmiş makine öğrenmesi kullanılarak spektrum doluluğunun tahmin edilmesi

işlem adımlarını içermesidir.

2. İstem 1'e uygun yöntem olup, **özelliği**; düzenli dağıtılmış sinyal analizörler olması durumunda doluluk tahmini yapmak üzere, doluluğun bulunması istenen nokta test çıktısını ve elde edilen $k+1$ uzunluğundaki vektör test girdisi olmak üzere, bu çıktı, girdi ve sinyal analizörlerinin tek boyutlu konum bilgisi kullanılarak giriş değerlerine göre hangi çıkış değerlerinin geleceğinin evrişimli sinir ağının eğitilerek öğretilmesi işlem adımını içermesidir.

3. İstem 1'e uygun yöntem olup, **özelliği**; düzensiz dağıtılmış sinyal analizörler olması durumunda doluluk tahmini yapmak üzere, doluluğun bulunması istenen nokta test çıktısını ve elde edilen $k+1$ uzunluğundaki vektör test girdisi olmak üzere, bu çıktı, girdi, sinyal analizörlerinin açısı ve sinyal analizörlerinin uzaklık bilgisi kullanılarak giriş değerlerine göre hangi çıkış değerlerinin geleceğinin evrişimli sinir ağının eğitilerek öğretilmesi işlem adımını içermesidir.

TARİFNAME

Çok Boyutlu Korelasyondan Yararlanılarak Makine Öğrenmesi ile Spektrum Doluluk Tahmin Yöntemi

5 Teknik Alan

Buluş, makine öğrenmesi tabanlı tahmin modelleri kullanarak ve hiper uzayın çoklu boyutları arasındaki korelasyondan yararlanılarak bilişsel radyo spektrum doluluk tahmini yapan yöntem ile ilgilidir.

Tekniğin Bilinen Durumu

- 10 Yüksek hızlı iletişimin sürekli artması ve mevcut spektrumun azlığı, haberleşme sistemleri kullanımında boşluk oluşturmaktadır. Bu boşluk, beşinci nesil iletişim (5G) sisteminin gelişmesiyle daha da belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu doğrultuda, bilişsel radyo (CR), ikincil kullanıcıların (SU), spektrum delikleri olarak adlandırılan birincil kullanıcılar (PU) tarafından kullanılan boş spektrum bantlarını fırsatçı olarak
- 15 kullanmalarına izin vermektedir. Sürekli spektrum algılamaya (continuous spectrum sensing) bir alternatif olarak, önceki kişilerin gelecekteki spektrum kullanımını tahmin etmek için spektrum tahmin metotları kullanılmaktadır. Bu alternatif, sürekli spektrum algılaması için gereken hesaplamayı, enerjiyi ve zaman yükünü önemli ölçüde azaltır.

- Günümüzde, çeşitli spektrum doluluk tahmin yöntemleri vardır. İlk çalışmalar, klasik
- 20 istatistiksel tahmin yöntemleri ile gelecekteki spektrum boşluklarını tahmin etmektedir. Örnekler arasında, üssel hareketli bir ortalama model (exponential moving average model), otoregressif bir model (autoregressive model (ARM)) ve gizli bir Markov modeli (hidden Markov model) üzerinden bir Bayesian çıkarım yöntemi (Bayesian inference method) kullanarak boşlukların tahmin edilmesi vardır.

- 25 Son zamanlarda ise, makine öğrenmesine dayalı yaklaşımlar, spektrum tahmini için araç olarak kabul edilmiştir. Örnekler arasında sığ yapay sinir ağlarının (shallow artificial neural networks) ve dalgacık sinir ağlarının (wavelet neural networks) kullanımı yer almaktadır.

- Son literatür çalışmaları, spektrum doluluğunu durağan olmayan bir süreç olarak
- 30 görmektedir. Bu sebeple, yukarıda belirtilen tekniklerin bu konuyu ele almakta yetersiz

kaldıkları belirtilmektedir. Bu yetersizlik, artan kullanıcı hareketliliği ve 5G'de beklenen çeşitli kullanıcı tipleri ile daha da artmıştır. Bu zorluklar ışığında, makine öğrenme modelleri, bu durağan olmayan durumu daha iyi ele alabilmek için gelişmiş bir spektrum tahmin çerçevesi (spectrum prediction framework) olarak mevcut

5 çalışmalarda önerilmiştir.

Bu doğrultuda, uzun-kısa süreli hafıza (LSTM) ve evrimsel sinir ağları (CNN), uzun gecikmelerle zaman içinde korelasyondan yararlanmak için umut verici tekniklerdir. Mevcut bir teknikte, yüksek doğrulukta radar sinyallerinin varlığını tespit edebilen CNN sınıflandırıcılarını eğitmek için genlik ve faz farkı verilerini kullanmayı önermektedir.

10 Başka bir mevcut teknikte, frekans atlamalı iletişimde spektrum tahmini için bir LSTM ağı kullanılmaktadır. Ayrıca, bu amaç için tensör analizi ile birlikte LSTM ağları da kullanılır. Bu yaklaşımların, zaman serileri tahmini olarak spektrum tahmini yaptığı ve zaman içindeki doluluk korelasyonundan faydalandığı belirtilmektedir. Dolayısıyla, mevcut frekans ve uzay korelasyonunu gözden kaçırmazlar.

15 Sonuç olarak, yukarıda anlatılan olumsuzluklardan dolayı ve mevcut çözümlerin konu hakkındaki yetersizliği nedeniyle ilgili teknik alanda bir geliştirme yapılması gerekli kılınmıştır.

Buluşun Amacı

Buluş, mevcut durumlardan esinlenerek oluşturulup, yukarıda belirtilen olumsuzlukları

20 çözmeyi amaçlamaktadır.

Buluşun ana amacı, mevcut olan korelasyonun, hiper uzayın çoklu boyutları üzerinde kullanılmasıyla spektrum doluluk tahmininin kalitesini arttırmaktır.

Buluşun diğer bir amacı, çoklu korelasyondan yararlanarak sürekli spektrum tahminindeki gecikmeyi azaltmaktır.

25 Buluşun diğer bir amacı, gelişmiş spektrum doluluk tahmini için çoklu korelasyondan yararlanarak verimli bir araç sunmaktır.

Buluşun diğer bir amacı, 5G ve ötesi sistemlerde spektrumun verimli bir şekilde kullanılmasıdır.

Yukarıda bahsedilen amaçları gerçekleştirmek üzere, buluş, makine öğrenmesi tabanlı tahmin modelleri kullanarak ve hiper uzayın çoklu boyutları arasındaki korelasyondan yararlanılarak bilişsel radyo spektrum doluluk tahmini kalitesinin artırıldığı yöntem olup;

- veri setinin oluşturmak üzere,
 - 5 o sinyal analizörleri tarafından, güç spektral yoğunluğunun doluluk/boşluk durumu bulunması istenilen frekans aralığındaki her bir frekans değeri için ölçülmesi,
 - o ölçülen yoğunluk verilerinin depolama cihazlarına kaydedilmesi,
 - 10 o belirli frekans aralığının termal gürültüsü ölçülüp tolerans değeri eklenerek final eşik değerinin hesaplanması,
 - o belirli frekans değeri için ölçülen güç spektral yoğunluklarının eşik değeri ile kıyaslaması yapılarak frekansların doluluk ve boşluklarının belirlenmesi,
 - 15 o makine öğrenmesinin eğitim ve test aşamasında kullanılacak olan ve girdi vektör uzunluğunu ifade eden adım sayısının belirlenmesi,
 - o t zaman ve k adım sayısı olmak üzere ve $(t-k)$ 'daki değerden t 'ye kadar olan her bir nokta vektörün bir elemanını temsil edecek şekilde $k+1$ uzunluğunda vektör elde edilmesi,
 - doluluk tahmini yapmak üzere,
 - 20 o $t+1$ anındaki nokta test çıktısını ve elde edilen $k+1$ uzunluğundaki vektör test girdisi olmak üzere, bu çıktı ve girdi kullanılarak giriş değerlerine göre hangi çıkış değerlerinin geleceğinin evrişimli sinir ağının eğitilerek öğretilmesi,
 - 25 o test aşamasında tahmin edilmek istenen değerlerin giriş verileri eğitilmiş makine öğrenmesine verilmesi ve eğitilmiş makine öğrenmesi kullanılarak spektrum doluluğunun tahmin edilmesi

işlem adımlarını içermektedir.

Buluşun yapısal ve karakteristik özellikleri ve tüm avantajları aşağıda verilen şekiller ve bu şekillere atıflar yapılmak suretiyle yazılan detaylı açıklama sayesinde daha net olarak anlaşılacaktır ve bu nedenle değerlendirmenin de bu şekiller ve detaylı açıklama göz önüne alınarak yapılması gerekmektedir.

5 Buluşun Anlaşılmasına Yardımcı Olacak Şekiller

Şekil 1, adım sayısının 3 alındığı veri seti örneğini göstermektedir.

Şekil 2, sinyal analizörlerinin düzenli olarak dağıtıldığı bir örneğini göstermektedir.

Şekil 3, sinyal analizörlerinin düzensiz olarak dağıtıldığı bir örneğini göstermektedir.

Buluşun Detaylı Açıklaması

- 10 Bu detaylı açıklamada, buluşa konu olan bilişsel radyo spektrum doluluk tahmin yönteminin tercih edilen yapılanmaları, sadece konunun daha iyi anlaşılmasına yönelik olarak açıklanmaktadır.

Veri setinin hazırlanması

- 15 İlk olarak, doluluk/boşluk durumu bulunması istenilen frekans aralığındaki her bir frekans değeri için, güç spektral yoğunluğu (PSD), sisteme uygun sinyal analizörler ile ölçülür ve ölçümler depolama cihazlarına kayıt edilir. Ölçülüp, kayıt edilmiş olan yoğunluk verileri, ölçüldüğü gibi (ham veri olarak) veya eşik değeri çekilerek ikili veri olarak kullanılabilir.

- 20 Eşik değerinin bulunması için ilk olarak, belirli frekans aralığının termal gürültüsü ölçülür. Daha sonra bulunan değere öngörülemez etki ve varyasyonları da hesaba katmak için bir tolerans değeri eklenerek final eşik değeri belirlenir. Birçok kaynakta tolerans değeri 3dB olarak alınmaktadır.

- 25 Eğer belirli bir frekansta ölçülen PSD, hesaplanan eşik değerinin üzerindeyse, bu bant kullanılıyor (1), değilse boşta (0) olarak kabul edilir. Daha sonra makine öğrenmesinin eğitim ve test aşamasında kullanılacak olan adım sayısı belirlenir. Adım sayısı (k) 1'den büyük bir doğal sayıdır ve çıktıdaki değeri bulmak için kullanılacak olan girdi vektör uzunluğunu ifade etmektedir. Test ve eğitim aşamasında kullanılacak olan girdi veri setini bulmak için t 'nin zamanı ifade ettiği $(t-k)$ 'daki değerden t 'ye kadar olan her bir nokta, vektörün bir elemanını temsil edecek şekilde yazılır. Sonuçta $k+1$ uzunluğunda

vektör elde edilir. Bu vektör girdi verisinin bir örneğini temsil etmektedir. Bu değerle ilişkili olan çıktı değeri ise $(t+1)$ anındaki değerdir.

k adım sayısının 3 alındığı veri seti örneği Şekil 1'de gösterilmektedir. Burada ch kanalı, m kanal sayısını, t_1 'den t_n 'e kadar olan kısım eğitim sembollerini, t_{n-2} 'den t_{n+1} 'e kadar olan kısım ise test sembollerini temsil etmektedir.

Sonuç olarak ölçülüp, depolanmış girdi ve çıktı veri setleri, sırasıyla eğitim girdi ve çıktı setlerini ifade etmektedir. Doluluğunun bulunması istenen nokta test çıktısını, bu noktadan $(t-k)$ 'ya kadar olan vektör ise test girdisini temsil etmektedir. Veri seti oluşumundan sonra çoklu korelasyondan yararlanabilmek için önerilen metotlar aşağıda belirtilmektedir:

Model 1: Zaman ve frekanstaki korelasyondan yararlanma

- Giriş ve çıkış eğitim verileri kullanılarak 2-D CNN (Convolutional Neural Network - Evrişimli Sinir Ağı) eğitilir.
- Eğitimde makine giriş değerlerine göre hangi çıkış değerlerinin gelmesi gerektiği makineye öğretilir.
- Test aşamasında tahmin edilmek istenen değer için giriş verileri eğitilmiş makine öğrenmesine verilir ve eğitilmiş makine öğrenmesi kullanılarak spektrum doluluğu tahmin edilir.

Model 2: Düzenli dağıtılmış sinyal analizörler için zaman, frekans ve uzaydaki korelasyondan yararlanma

Şekil 2'de sinyal analizörlerinin düzenli olarak dağıtıldığı bir senaryo gösterilmiştir. SA, sinyal analizörünü ifade etmektedir. Eğer sinyal analizörlerin dağıtımı düzenli ise, zaman, frekans ve sinyal analizörünün konum bilgisi olmak üzere üç boyutlu bir korelasyondan yararlanılabilir. Buradaki konum bilgisi kullanıcı tarafından konumları farklılaştırmak için tanımlanan bir değer olabilir. Bunun dışında eğer şekildeki gibi SA'lar aynı uzaklıkta yerleştirilir ise konum bilgisi açı (Q), aynı açı farklı uzaklıklar ile yerleştirilir ise konum bilgisi uzaklık (r) olabilir.

- Girdi veri setine 3. boyut olarak sinyal analizörlerinin tek boyutlu konum bilgisi eklenerek 3 boyutlu yeni girdi veri seti elde edilir.

- Oluşturulmuş yeni girdi veri seti ve zaman ve frekanstaki korelasyonunda kullanılan çıktı veri seti kullanılarak 3-D CNN eğitilir.
 - Eğitimde makine giriş değerlerine göre hangi çıkış değerlerinin gelmesi gerektiği makineye öğretilir.
- 5
- Test aşamasında tahmin edilmek istenen değer için giriş verileri eğitilmiş makine öğrenmesine verilir ve eğitilmiş makine öğrenmesi kullanılarak spektrum doluluğu tahmin edilir.

Model 3: Düzensiz dağıtılmış sinyal analizörler için zaman, frekans ve uzaydaki korelasyondan yararlanma

- 10 Şekil 3’de sinyal analizörlerinin düzensiz olarak dağıtıldığı bir örnek gösterilmiştir. Eğer sinyal analizörlerin dağıtımı düzensiz ise zaman, frekans, SA’nın konumundaki açı ve SA’nın konumundaki uzaklık olmak üzere 4 boyutlu bir korelasyondan yararlanılabilir.
- Girdi veri setine 3. boyut olarak sinyal analizörlerinin açısı, 4. boyut olarak ise sinyal analizörlerinin uzaklık bilgisi eklenir.
- 15
- Oluşturulmuş yeni 4 boyutlu yeni girdi veri seti ve zaman ve frekanstaki korelasyonunda kullanılan çıktı veri seti kullanılarak makine eğitilir.
 - Eğitimde makine giriş değerlerine göre hangi çıkış değerlerinin gelmesi gerektiği makineye öğretilir.
 - Test aşamasında tahmin edilmek istenen değer için giriş verileri eğitilmiş makine öğrenmesine verilir ve spektrum doluluğu tahmin edilir.
- 20

Alternatif olarak tüm modellerde, veri seti için ikili veri dışında ham veriler (eşik değeri çekilmemiş veriler) de kullanılabilir. Bunun için veri seti ham veriler ile eğitilir ve test aşamasında, çıkıştaki ham veri tahmin edilir. Daha sonra yukarıda anlatılan eşik değeri çekme yöntemi uygulanır ve spektrumun dolu veya boş olduğuna karar verilir. Ek olarak, tüm modellerde, girdi verileri ham veri, çıktı verileri ise ikili veri olarak makine öğrenmesinde kullanılabilir. Böylece, makine ham verilerle eğitilir ve makine çıktısında ikili veri olarak frekansın dolu veya boş bilgisi alınır.

25