



**Kablosuz Haberleşme Sistemlerinde Tepe Gücü-Ortalama
Güç Oranının (TG-OGO) Düşürülmesi için Yapay Zeka
Optimizasyon Algoritmalarına Dayalı Paralel Hesaplama
Yöntemlerinin Grafik İşlemci Birimi (GPU) Üzerinde
Gerçekleştirilmesi**

Program Kodu: 3001

Proje No: 114E917

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

Bursiyerler:
Mahmut YILDIRIM
Hilal BENLİ

KASIM 2016
KAYSERİ

ÖNSÖZ

Günümüz haberleşme çağında, daha hızlı ve sağlıklı bir veri iletişimi tüm kullanıcıların en önemli isteği haline gelmiştir. Bu isteğin karşılanması amacı ile günümüzde çok taşıyıcılı modülasyon (MCM) platformu üzerine geliştirilen birçok kablosuz haberleşme sistemi geliştirilmiştir. Bununla birlikte MCM tekniğini kullanan sistemlerin performanslarını olumsuz etkileyen en büyük etkenlerden birisi, işaretlerinin yüksek tepe gücü-ortalama güç oranına (PAPR) sahip olmasıdır. Yüksek PAPR, haberleşme sistemlerinin performanslarını, yüksek güç kuvvetlendiricileri (HPA), sayısal-analog çevirici (DAC) ve analog-sayısal çevirici (ADC) gibi elemanların kullanılmasından dolayı olumsuz etkilemektedir. Literatürde yüksek PAPR değerinin düşürülmesi amacı ile önerilmiş muhtelif yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerin hepsinde de başarı kriteri, PAPR düşürülürken ortaya çıkan hesaplama karmaşıklığı (yöntemin istenilen PAPR değerini kaç işlemde gerçekleştirdiğinin ölçüsü)'nın diğer yöntemlerle kıyaslanması şeklinde olmaktadır. Oysa yöntemlerin sahip olduğu bazı operatörlerin veya ara işlemlerin farklı hesaplama süreleri gerektirdiği bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla, yalnızca hesaplama karmaşıklığına dayalı bir karşılaştırma yapılması, yöntemlerin pratik olarak uygulanabilir olduklarını değerlendirmek için çoğunlukla yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle bir yöntemin başarısı değerlendirilirken, sadece hesaplama karmaşıklığı değil, aynı zamanda hesaplama süresi de dikkate alınmalıdır.

Genel olarak büyük boyutlu problemler için hesaplama süresinin azaltılması amacıyla sıklıkla başvurulanan yöntemlerden birisi paralel hesaplama yöntemleridir. Muhtelif paralel hesaplama yöntemleri olmasına rağmen, son 9-10 yıl içerisinde ekran kartlarının grafik işlemci birimi (GPU) üzerine dayalı paralel hesaplama yöntemlerinin kullanılmasına olan ilgi giderek artmaktadır. GPU'ların paralel hesaplama amacıyla kullanılmasına yönelik uygulamaların artmasının temelinde ise maliyetinin düşük olması, kolay uygulanabilir olması ve bellek yönetiminin daha kolay gerçekleştirilmesi gibi muhtelif avantajlar etkili olmuştur.

Yukarıdaki açıklamalar dikkate alındığında bu projede, PAPR değerinin düşürülmesinde hesaplama karmaşıklığının azaltılması için paralel karınca kolonisi optimizasyonu (Paralel-ACO), paralel yapay arı kolonisi (Paralel-ABC) ve paralel tabu araştırma (Paralel-TS) algoritmaları yapay zeka optimizasyon algoritmaları olarak kullanılmıştır. Yine PAPR değerinin düşürülmesinde hesaplama süresinin azaltılması çalışmalarında, Paralel-ABC algoritması GPU mimarisi ile, Paralel-TS ve Paralel-ACO algoritmaları ise açık çoklu-işlem (Open MP) mimarisi ile birlikte literatürde ilk defa kullanılmıştır.

114E917 numaralı bu proje, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmektedir.

İÇİNDEKİLER

KABLOSUZ HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE TEPE GÜCÜ-ORTALAMA GÜÇ ORANININ (TG-OGO) DÜŞÜRÜLMESİ İÇİN YAPAY ZEKA OPTİMİZASYON ALGORİTMALARINA DAYALI PARALEL HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN GRAFİK İŞLEMCİ BİRİMİ (GPU) ÜZERİNDE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	III
TABLolar LİSTESİ	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
1. GİRİŞ.....	1
2. GEREÇ VE YÖNTEM	2
2.1 Klasik PAPR Düşürme Teknikleri	3
2.1.1 Ton Ekleme (TI) Tekniği.....	4
2.1.2 Seçici Eşleme (SLM) Tekniği	4
2.1.3 Kısmi İletim Dizisi (PTS) Tekniği	4
2.2 Yüksek Güç Kuvvetlendirici (HPA)	6
2.3 Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları.....	8
2.3.1 Paralel Karınca Kolonisi Optimizasyon (Paralel-ACO) Algoritması.....	8
2.3.2 Paralel Tabu Araştırma (Paralel-TS) Algoritması.....	10
2.3.3 Paralel Yapay Arı Kolonisi (Paralel-ABC) Algoritması	11
2.4 Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmalarının Hesaplama Süresini Düşürmek için Kullanılan Mimariler	13
2.4.1 GPU ve Bilgisayar Birleşik Cihaz Mimarisi (CUDA)	13
2.4.2 Açık Çoklu-İşleme (Open MP).....	15
3. SİMÜLASYON SONUÇLARI.....	16
4. SONUÇ	24
5. KAYNAKLAR.....	25

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1	Bu proje kapsamında kullanılan sistemin temel yapısı.	2
Şekil 2	TI tekniğinde 16-QAM sembollerinin genişleme noktaları	3
Şekil 3	SLM tekniğinin blok modeli	4
Şekil 4	PTS tekniğinin blok modeli	5
Şekil 5	HPA'da giriş işaretine karşın çıkış işaretinin değişimi	6
Şekil 6	Yuva ile Yiyecek arasında karıncaların en kısa yolu bulması	9
Şekil 7	Paralel-ACO algoritmasının blok yapısı	10
Şekil 8	Paralel-TS algoritmasının blok yapısı	11
Şekil 9	Paralel-ABC algoritmasının blok yapısı.....	13
Şekil 10	GPU'da İş parçacığı, Blok, Grid Yapısı	15
Şekil 11	CUDA Programlama Modeli.....	15
Şekil 12	Open MP İş Parçacığı Yapısı	16
Şekil 13	Open MP Yapıları.....	16
Şekil 14	Klasik PTS (rastgele araştırma), ACO, Paralel-ACO ve optimum PTS tekniklerinin PTS tekniği için PAPR düşürme performansları.....	17
Şekil 15	ABC, TS, Parallel-TS, ACO and Parallel-ACO algoritmalarının PTS tekniki için PAPR düşürme performansları.....	18
Şekil 16	Paralel-ACO algoritması ve optimum PTS tekniğinin AWGN kanalı için SSPA ($p=1$ için) kullanılması durumundaki BER performansları.....	19
Şekil 17	Paralel-ACO algoritması ve optimum PTS tekniğinin AWGN kanalı için TWTA ($\phi=\pi/12$ için) kullanılması durumundaki BER performansları	19
Şekil 18	ABC ve Paralel-ABC algoritmalarının TI ve SLM tekniği için; Paralel-TS algoritmasının TI tekniği için PAPR düşürme performansları.....	20
Şekil 19	Paralel-ABC ve Paralel-TS algoritmalarının TI ve PTS tekniği için PAPR düşürme performansları	21
Şekil 20	Paralel-ABC algoritmasının PTS tekniği için GPU mimarisi ile hesaplama süresinin düşürülmesi	22

Şekil 21	Paralel-TS ve Paralel-ACO algoritmalarının PTS tekniği için Open MP mimarisi ile hesaplama süresinin düşürülmesi.....	23
-----------------	---	----

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1	PAPR Düşürme Algoritmalarının PTS tekniği için Karmaşıklık Analizi.....	18
Tablo 2	PAPR Düşürme Algoritmalarının TI tekniği için Karmaşıklık Analizi	21

ÖZET

Bu projede, kablosuz haberleşme sistemlerinde PAPR değerinin düşürülmesi amacıyla yapay zeka optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımlar ile literatürdeki yöntemlere göre hesaplama karmaşıklığı ve hesaplama süresinin azaltılması amaçlanmıştır.

Önerilen yöntemler temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır:

- 1) Hesaplama karmaşıklığının azaltılmasına yönelik yaklaşımlar: Bu sebeple, kısmi iletim dizisi (PTS) ve ton ekleme (TI) klasik tepe gücü-ortalama güç oranı (PAPR) düşürme teknikleri ile yapay zeka optimizasyon algoritmaları birlikte kullanılmıştır. PTS için karınca kolonisi optimizasyonu (ACO), Paralel-ACO ve paralel yapay arı kolonisi (Paralel-ABC) algoritmaları Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) sistemlerinde, TI için Paralel-ABC algoritması karma otomatik tekrar isteği (HARQ) protokolünü kullanan OFDM sistemlerinde önerilmiştir.
- 2) Hesaplama süresinin azaltılmasına yönelik yaklaşımlar: Bu sebeple, Paralel-ABC algoritması GPU mimarisi ile, Paralel-TS ve Paralel-ACO algoritmaları ise açık çoklu-işlem (Open MP) mimarisi ile birlikte literatürde ilk defa PAPR düşürülmesi probleminde kullanılmıştır. GPU ve Open-MP üzerinde oluşturulan modeller sayesinde hesaplama süresinde önemli azalmalar elde edilmiştir.

Simülasyon çalışmalarında, hesaplama karmaşıklığı ve hesaplama süresi kriterlerinin yanı sıra haberleşme sistemlerinin bit hata oranı (BER) ve başarımları kriterleri de karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler

OFDM, PAPR, GPU, Open MP, Paralel-ABC, Paralel-TS, Paralel-ACO.

ABSTRACT

In this Project, artificial intelligent optimization algorithms are used for PAPR value reduction in wireless communication systems. It is aimed to reduce the computational complexity and computational time with the proposed approaches according to the literature.

The proposed method has two part basically:

- 1) The approaches for reducing computational complexity: In this reason, partial transmit sequence (PTS) and tone injection (TI), which are classic PAPR reduction technique, are used with artificial intelligent optimization algorithms. It is proposed that ant colony optimization (ACO), parallel-ACO and paralel artificial bee colony (Parallel-ABC) algorithms for the PTS in Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) systems, parallel-ABC algorithm for the TI in OFDM systems using hybrid automatic repeat request (HARQ) scheme.
- 2) The approaches for reducing computational time: In this reason, Parallel-ABC algorithm was used with the GPU architecture, Parallel-ACO and Parallel-TS algorithms were used with the open multi-processing (Open MP) architecture for the PAPR reduction in the literature. Thanks to the GPU and Open MP architecture, it is gained signficiantly reduction on the computational time.

In the simulations, besides the computational complexity and computational time, bit error ratio (BER) and throughput criteria of the communication systems are compared.

Keywords

OFDM, PAPR, GPU, Open MP, Parallel-ABC, Parallel-TS, Parallel-ACO.

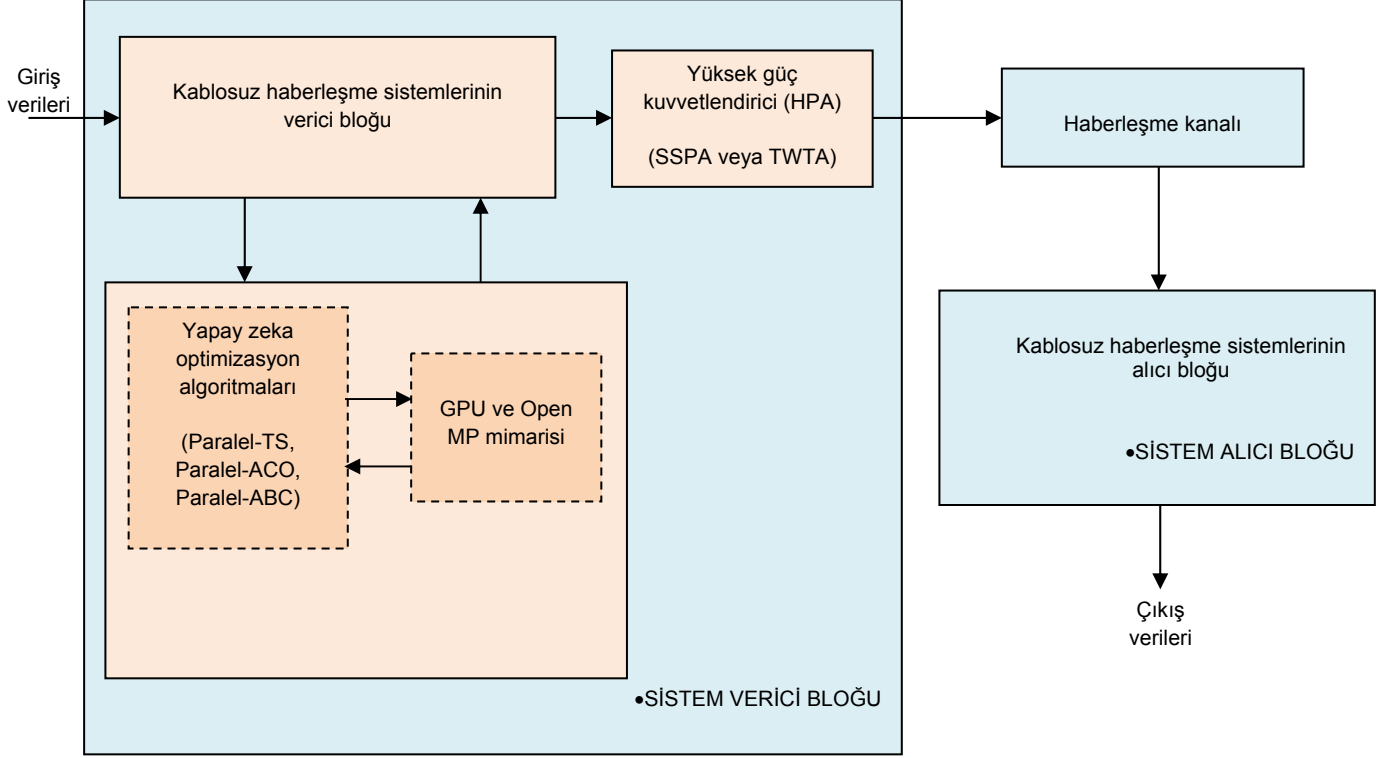
1. GİRİŞ

Günümüzde MCM tekniği üzerine geliştirilen kablosuz haberleşme sistemleri çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. MCM tekniğinin en büyük problemlerinden birisinin işaretlerin yüksek PAPR'a sahip olması, literatürde haberleşme alanında üzerinde en yoğun çalışılan konulardan birisinin; 'kablosuz haberleşme sistemlerinde işaretlerin yüksek PAPR değerinin düşürülmesi' olmasına yol açmıştır.

Literatürde PAPR'ı düşürmek için bazı esnek hesaplama yöntemleri önerilmiştir. Bu çalışmalar şöyledir: Yeni bir Paralel-ABC algoritması geliştirilmiş ve bu algoritmanın OFDM ve çok-girişli çok-çıkışlı (MIMO)-OFDM sistemlerinde SLM yöntemi için PAPR düşürme performansı incelenmiştir (Taşpınar ve Yıldırım, 2015). OFDM sistemlerinde Paralel-TS algoritması kullanılarak PAPR düşürmek için PTS şeması önerilmiştir (Taşpınar vd., 2011). MC-CDMA sistemlerinde yapay arı kolonisi algoritması kullanılarak PAPR düşürmek için PTS şeması önerilmiştir (Taşpınar vd., 2011). OFDM sistemlerinde yapay arı kolonisi algoritması kullanılarak PAPR düşürmek için PTS şeması önerilmiştir (Taşpınar vd., 2011). Bu çalışmalardan Paralel-TS algoritması ile, literatürde ilk kez bir paralel esnek hesaplama yöntemi işaretlerin PAPR değerinin düşürülmesi için kullanılmıştır. Paralel-TS yöntemi ABC, geliştirilmiş parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve TS yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar PAPR değerindeki düşürüm performansı, yöntemlerin hesaplama karmaşıklıklarının analizi ve OFDM sisteminin işaret-gürültü oranı performanslarının değerlendirilmesi şeklinde olmuştur. (Wen vd., 2008) çalışmasında, OFDM sistemleri için parçacık sürü algoritması klasik kısmi iletim dizisi yönteminin hesaplama karmaşıklığını azaltmak için kullanılmıştır. (Li vd., 2008) çalışmasında OFDM sistemleri için benzetimli tavlama yöntemi, klasik kısmi iletim dizisi yönteminin hesaplama karmaşıklığını azaltmak için kullanılmıştır. (Chen 2010) çalışmasında OFDM sistemleri için elektromanyetizm benzeri algoritma, klasik kısmi iletim dizisi yönteminin hesaplama karmaşıklığını azaltmak için kullanılmıştır. (Jimenes vd., 2011) çalışmasında OFDM sistemleri için uyarlanırlı sinirsel bulanık çıkarım sistemleri (ANFIS) aktif grup genişletme yönteminin iyileştirilmesi için kullanılmıştır. (Lixia vd., 2010) çalışmasında OFDM sistemleri için genetik algoritma kısmi iletim dizisi yönteminin karmaşıklığının iyileştirilmesi için kullanılmıştır.

Bu projede, GPU (Owens vd., 2007; Laguna vd., 2009; Ryoo 2008) ve açık çoklu-işleme (Open MP) (Quinn 2003) teknolojileri paralel esnek hesaplama yöntemleri ile birlikte kullanılarak, PAPR düşürülmesinde hesaplama süresinin ve hesaplama karmaşıklığının azaltılması sağlanmıştır. Paralel-ABC algoritması GPU ile birlikte, Paralel-TS ve Paralel-ACO algoritmaları ise Open MP ile birlikte kullanılması ile birlikte hesaplama sürelerinde önemli azalmalar sağlanmıştır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM



Şekil 1. Bu proje kapsamında kullanılan sistemin temel yapısı.

Bu projede kullanılan sistemin temel yapısı ve yapılan çalışmalarda kullanılan birimler Şekil 1’de gösterilmektedir. Kablosuz haberleşme sistemi olarak OFDM ile birlikte HARQ protokolü kullanan OFDM sistemleri kullanılmıştır. Paralel-TS, Paralel-ACO ve Paralel-ABC yapay zeka optimizasyon algoritmaları işaretlerin PAPR değerini düşürmek için kullanılmıştır. GPU mimarisi Paralel-ABC algoritması için, Open MP mimarisi ise Paralel-TS ve Paralel-ACO algoritmaları için hesaplama sürelerinin azaltılması amacı ile kullanılmıştır. SSPA ve TWTA yüksek güç kuvvetlendiricileri olarak kullanılmıştır.

N adet alt-taşıyıcı sayısına sahip bir OFDM işareti aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$x(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} X_n e^{j2\pi kn/N}, 0 \leq n < N, \quad (1)$$

Burada, $X = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]$ giriş sembol dizisini ifade etmektedir. Denklem (1)’de verilen bir $x(n)$ OFDM işaretinin PAPR değeri ise aşağıdaki gibidir:

$$PAPR(x) = \frac{\max_{0 \leq n \leq N-1} \{|x(n)|^2\}}{E\{|x(n)|^2\}}, \quad (2)$$

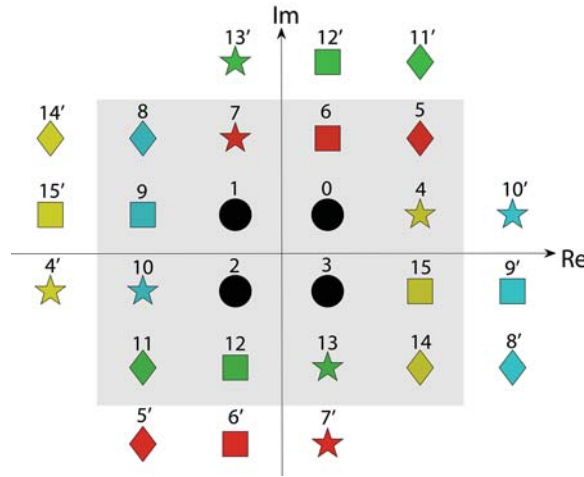
Burada $E\{\cdot\}$, OFDM işaretinin ortalama değerini göstermektedir.

2.1 Klasik PAPR Düşürme Teknikleri

Bu proje kapsamında literatürde en fazla tercih edilen klasik PAPR düşürme tekniklerinden olan kısmi iletim dizisi (PTS), seçici eşleme (SLM) ve ton ekleme (TI) teknikleri kullanılmıştır.

2.1.1 Ton Ekleme (TI) Tekniği

Şekil 2’de ton ekleme yönteminde sembollerin genişleme noktaları görülmektedir. TI yönteminde temel x dizisindeki semboller, kendileri ile aynı bilgiyi taşıyan gri alanın çevresindeki noktalarla eşleştirilir. Bu eşleştirmeler, işaretlerin PAPR değerini düşürmek için uygun noktalara yapılması gerekmektedir.



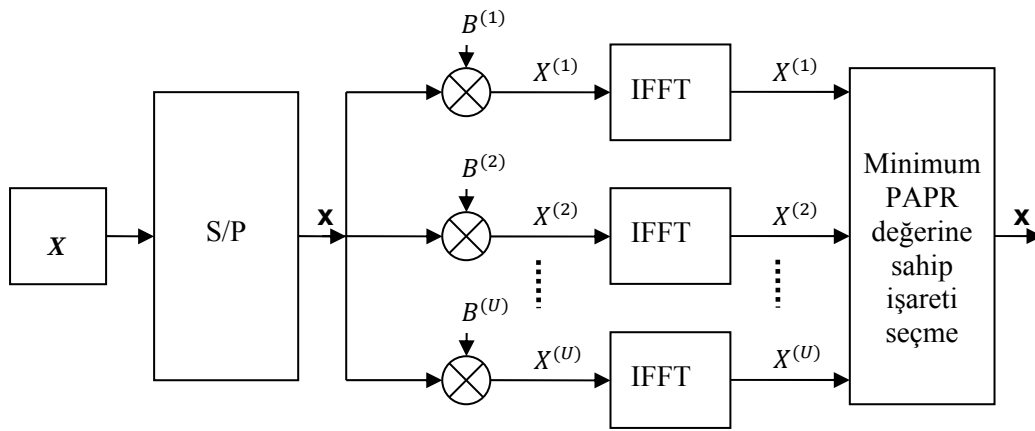
Şekil 2. TI tekniğinde 16-QAM sembollerinin genişleme noktaları.

TI yöntemi ile PAPR değerini düşürmek için, her bir uygun sembol orijinal noktasından kendisi ile aynı bilgiyi taşıyan çevredeki noktaya genişletilir. En düşük PAPR değerinin bulunması için temel sembollerin genlik ve faz bilgileri değiştirilerek işaretlerin PAPR değerinin düşürülmesi sağlanmaktadır. Bu sembollerden hangisinin genişletilip hangisinin genişletilmeyeceği kararının verilmesi ile en düşük PAPR değeri bulunabilir. Tüm seçenekler

dikkate alındığında klasik TI tekniği için $(2)^N$ adet araştırma yapılması gerekmektedir. TI tekniğinin avantajı haberleşme sisteminin alıcı kısmından verici kısmına herhangi bir yan bilginin iletilmesine ihtiyaç duymamasıdır. TI tekniğinin dezavantajı ise, sembollerin genişlemesine ihtiyaç duymasından dolayı bit başına ortalama enerjideki artmadır.

2.1.2 Seçici Eşleme (SLM) Tekniği

Şekil 3’de SLM tekniğinin blok modeli görülmektedir:

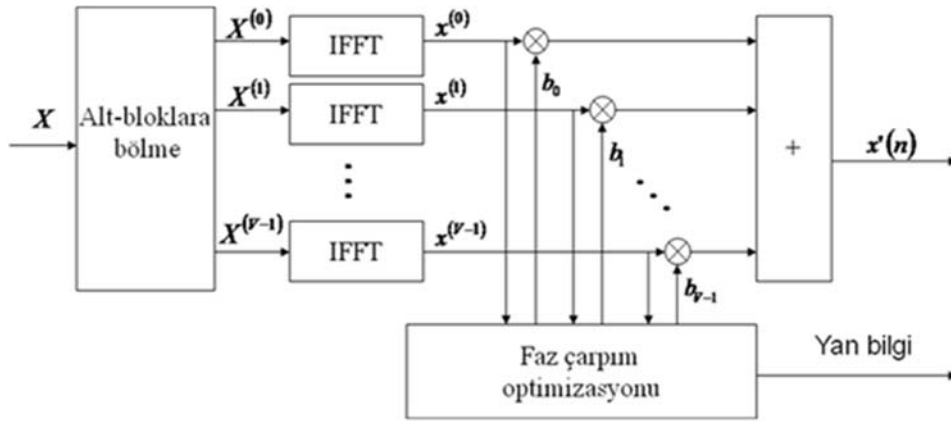


Şekil 3. SLM tekniğinin blok modeli.

SLM tekniğinde, X giriş sembol dizisi U adet kopyalanarak her biri uygun faz çarpanı dizisi ile çarpılır. En düşük PAPR değerine sahip dizi sistem alıcı kısmına gönderilmek üzere haberleşme kanalına verilir. Faz çarpanları dizisi, $B^{(u)} = [b_0^{(u)}, b_1^{(u)}, \dots, b_{N-1}^{(u)}]$ şeklinde ifade edilmektedir. Bu proje kapsamında yapılan çalışmada kullanılan faz çarpanları $b_n^{(u)} \in \{\pm 1\}$ şeklindedir. Alıcıda, orijinal bilginin tekrar elde edilebilmesi için iletilen işaretin ters faz çarpanları ile çarpılması gerekmektedir. Bundan dolayı, faz çarpanları dizisinin yan bilgi olarak iletilmesi gerekmektedir. Yan bilginin iletilmesi SLM yönteminin en büyük dezavantajıdır.

2.1.3 Kısmi İletim Dizisi (PTS) Tekniği

Şekil 4'de PTS tekniğinin blok modeli görülmektedir. PTS, araştırmacılar tarafından en çok üzerinde durulan PAPR düşürme tekniğidir. PTS tekniğinde, TI tekniğinde karşılaşılan bit enerji seviyelerinin artması sorunu yaşanmaz ve SLM tekniğindeki gibi uzun yan bilgi dizisi iletilme sorunu yoktur. PTS tekniğinde ilk olarak X giriş sembol dizisi parçalanarak V sembolü ile ifade edilen alt bloklara bölünür. Alt bloklara ayırma sonucunda veri matrisi $V \times N$ boyutunda olmaktadır.



Şekil 4. PTS tekniğinin blok modeli.

PTS tekniğinde ilk olarak X giriş sembol dizisi parçalanarak V sembolü ile ifade edilen alt bloklara bölünür. Alt bloklara ayırma sonucunda veri matrisi $V \times N$ boyutunda olmaktadır. Her bir alt blok $\mathbf{X}^{(v)} = [X_0^{(v)}, X_1^{(v)}, \dots, X_{N-1}^{(v)}]$ şeklinde gösterilmektedir. Burada $v = 1, 2, \dots, V$ 'dir. Bu işlem sonucunda sembol dizisi aşağıdaki eşitlik ile gösterilmektedir:

$$X = \sum_{v=0}^{V-1} X^{(v)} \quad (3)$$

Daha sonra her bir alt blok ayrı ayrı IFFT işlemine tabi tutulur, N uzunluğundaki her bir alt blok farklı faz çarpanları ile fazları değiştirilir. Bu işlem için önceden belirlenen değişik döndürme açılarındaki faz döndürme çarpanları ile alt bloklar çarpılır. W işareti ile ifade edilen faz döndürme sayısının iki olması durumunda $b_v \in \{\pm 1\}$ 'dir. Faz döndürme sayısının dört olması durumunda $b_v \in \{\pm 1, \pm j\}$ 'dir. Faz çarpanları ile fazları değiştirilen alt bloklar daha sonra tekrar toplanarak bir araya getirilirler. Literatürde PTS yöntemi için birinci alt bloğun faz çarpanı $b_0 = 1$ alınmaktadır. Bu durumda PTS yönteminde alt blok sayısının V olması

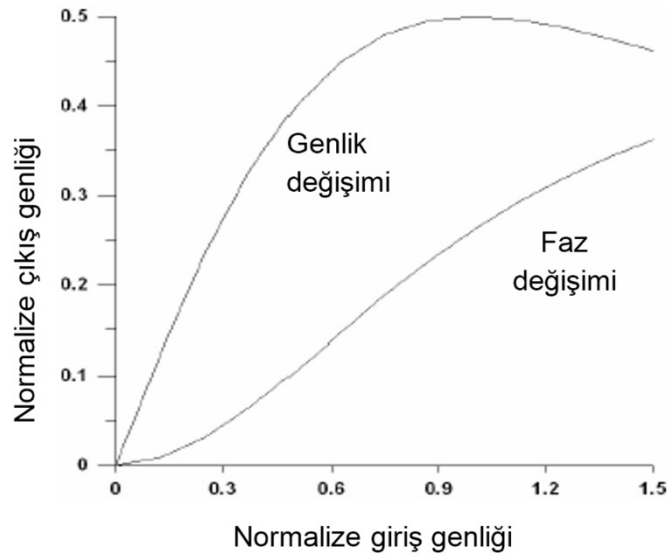
durumunda W^{V-1} adet alternatif faz çarpım vektörü bulunmaktadır. Örneğin $W = 2$ ve $V = 16$ durumunda $2^{16-1} = 32768$ tane faz çarpım vektörü bulunmaktadır. Faz döndürme katsayıları ile fazları değiştirilen alt blok vektörleri daha sonra toplanarak bir araya getirilirler. Bu işlemlerin sonucunda aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$x'(n) = \sum_{v=0}^{V-1} b_v IFFT\{X^{(v)}\} \quad (4)$$

Tekrar $1 \times N$ boyutuna getirilen işaretin PAPR değeri hesaplanır ve en uygun faz çarpım vektörü bulunur. PTS tekniği uygulandıktan sonra en düşük PAPR değerini veren işaret haberleşme sisteminin alıcı kısmına iletilir. PTS tekniğinde alıcı tarafa en düşük PAPR değerini sağlayan faz çarpım vektörünün iletilmesi gerekmektedir. Alıcı kısma $R = (V-1)\log_2(W)$ adet bit yan bilgi olarak iletilir.

2.2 Yüksek Güç Kuvvetlendirici (HPA)

HPA'lar doğrusal olmayan bir kuvvetlendirme karakteristiğine sahiptirler. Özellikle yüksek PAPR değerine sahip işaretler HPA tarafından daha fazla bozulmaya maruz kalırlar. Şekil 5'te HPA girişine uygulanan giriş işaretine karşın çıkış işaretinin değişimi gösterilmektedir.



Şekil 5. HPA'da giriş işaretine karşın çıkış işaretinin değişimi.

Temel bir HPA'nın girişine uygulanan işaret aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir.

$$x'(n) = s(n)e^{j\theta(n)} \quad (5)$$

Burada $s(n)$ giriş işaretin genlik değeri, $e^{j\theta(n)}$ ise faz bilgisidir. $x'(n)$ işareti PAPR düşürme tekniği uygulandıktan sonra elde edilen işarettir. HPA'nın çıkışında elde edilen işaret ise aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir:

$$r(n) = A_{HPA}(s(n))e^{j\{\theta(n)+\phi_{HPA}(s(n))\}} \quad (6)$$

Burada A_{HPA} HPA'nın giriş işaretine karşın çıkış genlik cevabı, ϕ_{HPA} giriş işaretine karşın faz cevabıdır.

Literetürde kullanılan iki çeşit HPA modeli vardır. Bunlar gezici dalga tüpü kuvvetlendirici (TWTA) ve katı-hal güç kuvvetlendirici (SSPA) modelleridir.

2.2.1 TWTA Modeli

TWTA modelinde, giriş işaretindeki genlik değişimi ile çıkış işaretinin genliği ve fazı birlikte değişmektedir. TWTA modelinde çıkış işareti aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir:

$$r(n) = A_{TWTA}(s(n))e^{j\{\theta(n)+\phi_{TWTA}(s(n))\}} \quad (7)$$

Burada A_{TWTA} TWTA'nın giriş işaretine karşın çıkış genlik cevabı, ϕ_{TWTA} giriş işaretine karşın faz cevabıdır. A_{TWTA} ve ϕ_{TWTA} değerleri aşağıdaki eşitlikler ile verilmektedir:

$$A_{TWTA}(s(n)) = A_{sat}^2 \frac{s(n)}{s(n)^2 + A_{sat}^2} \quad (8)$$

$$\phi_{TWTA}(s(n)) = \frac{\pi}{6} \frac{s(n)}{s(n)^2 + A_{sat}^2} \quad (9)$$

Burada, A_{sat} TWTA'nın giriş doyum gerilimidir.

2.2.2 SSPA Modeli

SSPA modelinde, giriş işaretindeki genlik değişimi ile çıkış işaretinin sadece genliği değişmekte, fazında bir değişiklik olmamaktadır. SSPA modelinde çıkış işareti aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir:

$$r(n) = A_{SSPA}(s(n))e^{j\{\theta(n)+\phi_{SSPA}(s(n))\}} \quad (10)$$

Burada A_{SSPA} SSPA'nın giriş işaretine karşın çıkış genlik cevabı, ϕ_{SSPA} giriş işaretine karşın faz cevabıdır. A_{SSPA} ve ϕ_{SSPA} değerleri aşağıdaki eşitlikler ile verilmektedir:

$$A_{SSPA}(s(n)) = \frac{s(n)}{\left[\left(1 + \frac{s(n)}{A_0} \right)^{2p} \right]^{\frac{1}{2p}}} \quad (11)$$

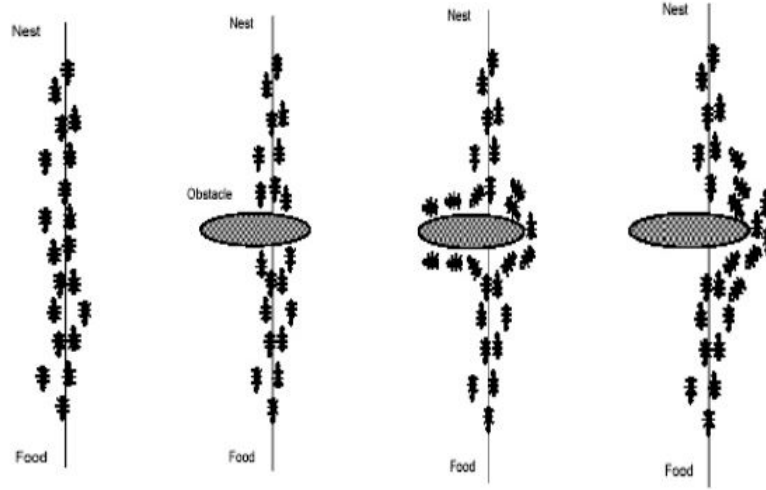
$$\phi_{SSPA}(s(n)) = 0 \quad (12)$$

Burada, A_0 SSPA'nın çıkış doyum gerilimidir.

2.3 Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları

2.3.1 Paralel Karınca Kolonisi Optimizasyon (Paralel-ACO) Algoritması

(Dorigo vd.,1991) tarafından önerilen sürü zekasına dayalı sezgisel algoritmalarından biri olan ACO, gerçek karınca kolonilerinin davranışlarından esinlenilerek oluşturulmuş bir optimizasyon algoritmasıdır. Yiyecek ve yuva arasındaki en kısa yolu bulmak için bırakılan feromon maddesinin yoğunluğu, karıncaların o yönü tercih etme sebebidir. Aşağıdaki şekil bu stratejiyi göstermektedir:



Şekil 6. Yuva ile yiyecek arasında karıncaların en kısa yolu bulması.

Paralel ACO (Kalınlı ve Sarıkoç, 2008) modelinde ise n adet karınca kolonisi birbirlerinden bağımsız olarak araştırma uzayında çözüm aramaktadır. Dolayısıyla, bir kolonideki karıncalar araştırma yaparken, diğer kolonilerin karıncalarının yollara bıraktığı kokulardan doğrudan etkilenmemektedir. Koloniler arasındaki etkileşim ve bilgi paylaşımı belirli zaman dilimlerinde GA (Genetik Algoritma) algoritmasından esinlenerek kullanılan çaprazlama işlemine dayalı olarak yapılmaktadır.

Çaprazlama işlemi öncesinde kolonilerin ürettiği bölgesel en iyi çözümler aralarında rasgele eşleştirilir. Daha sonra GA'da kullanılan çift noktalı gen takası yöntemine uygun olarak her bir eş için rasgele üretilen iki kesim noktası belirlenir. Bu kesim noktaları arasında gen takası yapılarak yeni çözümler oluşturulur. Bu sayede kolonilerin ürettiği bölgesel en iyi çözüm etrafında daha iyi yeni çözümler aranır. Çaprazlama sonrasında elde edilen yeni çözümler değerlendirilir ve mevcut küresel en iyi çözümden daha iyi bir çözüm bulunmuşsa bu çözüm yeni küresel en iyi çözüm olarak muhafaza edilir.

Örnek bir çaprazlama işlemi aşağıda verilmiştir:

Ebeveyn1 **1110|11010|001**

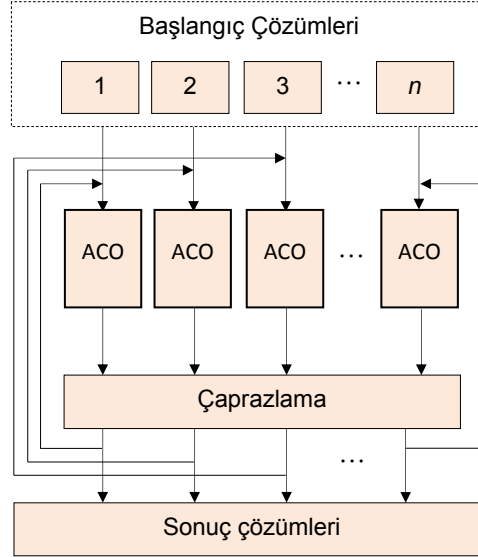
Ebeveyn2 1100|00111|110

Çocuk1 **1110|00111|001**

Çocuk2 1100|**11010**|110

Çaprazlama işlemi sayesinde koloniler arasında bölgesel en iyi çözümler üzerinden bilgi paylaşımı sağlanmaktadır. ACO da rastgele üretilen başlangıç çözümü oluşturulduktan sonra, karınca feromon miktarına göre yolunu seçer.

Şekil 7’de Paralel-ACO algoritmasının temel yapısı gösterilmiştir:



Şekil 7. Paralel-ACO algoritmasının blok yapısı.

2.3.2 Paralel Tabu Araştırma (Paralel-TS) Algoritması

(F.Glover, 1986) tarafından optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilen tabu araştırma algoritması iteratif bir araştırma algoritmasıdır. Bir TS algoritmasının temel adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1. *Başlangıç çözümünün alınması,*

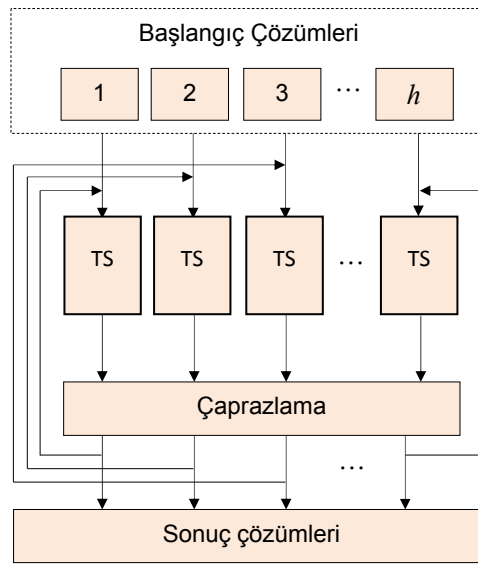
Adım 2. *Kabul edilebilir en iyi çözümün (S_b) seçimi,*

Adım 3. *S_b 'nin yeni çözüm olarak alınması ve tabu listesinin güncellenmesi,*

Adım 4. *Durdurma kriteri sağlanıncaya kadar 2. ve 3. adımların tekrarlanması.*

Tabu listesi, kabul edilen hareketlerin karakteristiklerini depo etmek için kullanılmaktadır. Belirli şartların sağlanmasına bağlı olarak herhangi bir adımda iyileşmeyen hareketlerin kabul edilebilmesi, daha önceki adımlarda görülen çözüm noktalarına geri dönülmesine engel olmaktadır. Bunun için bir *yasaklama stratejisi* ile araştırmayı sınırlama ve yasaklama, sadece tabu listesini güncellemek ve kontrol etmekle mümkün olmaktadır.

Paralel-TS yönteminde h adet Tabu Araştırma (TS) algoritması birbirinden bağımsız olarak çalışmakta ve belirli bir işlem süresi sonrasında birbirinden bağımsız araştırma yapan algoritmaların bulduğu aday çözümler arasında GA'nın çaprazlama operatörü ile bilgi alış veriş yapılmaktadır. Çaprazlama sonucu oluşan h adet yeni çözüm tekrar TS algoritmalarının başlangıç çözümü olarak kabul edilerek araştırma bu şekilde katmanlar halinde sürdürülmektedir. Araştırma süresince elde edilen en iyi çözüm (elit çözüm) ise her aşamada ileri taşınarak korunmaktadır. Şekil 8'de Paralel-TS algoritmasının yapısı gösterilmiştir:



Şekil 8. Paralel-TS algoritmasının blok yapısı.

2.3.3 Paralel Yapay Arı Kolonisi (Paralel-ABC) Algoritması

ABC algoritmasında, bir yiyecek kaynağının pozisyonu optimizasyon probleminde olası çözümler anlamına gelmektedir. Yiyecek kaynağının nektar miktarı ise bu çözümün ne kadar kaliteli bir çözüm olduğunu gösterir. Bir koloni de üç grup arı bulunmaktadır: işçi arılar, gözcü arılar ve kaşif arılar. Bir popülasyondaki işçi arıların ve gözcü arıların sayıları çözüm sayısına eşittir. ABC algoritmasının ilk adımında, çözüm uzayında rastgele yerlere işçi arıları ve gözcü arıları yerleştirir. Burada işçi ve gözcü arıların sayıları SN ile temsil edilir ve çözüm sayısı x_i ($i = 1, 2, ..., SN$) ile gösterilir. Başlangıç adımından sonra popülasyonun yerleri (problemin olası çözümleri) her bir çevrimde işçi, gözcü ve kaşif arılar tarafından tayin edilir. Bir işçi arı pozisyonunu önceki çevrimlerde elde ettiği bilgiyi kullanarak değiştirir ve en fazla nektar miktarına sahip olan yiyecek kaynağını bulmaya çalışır. Yeni bulduğu yiyecek kaynağının nektar miktarı önceki yiyecek kaynağından fazla ise hafızasında yeni bulduğu

yiyecek kaynağını tutar, öncekini hafızasından siler. Aksi taktirde hafızasında bir önceki yiyecek kaynağını tutar. İşçi arılar arama işlemini bitirdikten sonra yiyecek kaynağındaki nektar miktarını gözcü arılar ile paylaşır. Bir gözcü arı, işçi arılardan aldığı bilgilere göre nektar miktarlarını değerlendirir ve yeni bir yiyecek kaynağını nektar miktarını tahmin ederek belirler. Bu durumda gözcü arılar yeni yiyecek kaynağına hareket ederler ve bu yiyecek kaynağının nektar miktarını kontrol ederler. Yeni bulunan yiyecek kaynağının nektar miktarı hafızasında tuttuğu yiyecek kaynağının nektar miktarından fazla ise öncekini hafızasından siler. İşçi ve gözcü arılardan sonra kaşif arılar devreye girer. Yiyecek kaynağında bulunan nektar miktarlarının yeterli olup olmadığına karar verilir. Eğer nektar miktarı yeterli ise bu yiyecek kaynağı dikkate alınır. Eğer nektar miktarı yeterli değil ise kaşif arılar yeni çiçeklerin aranması için rastgele gönderilirler. Bu adımlar daha önceden belirlenen maksimum çevrim sayısına ulaşıncaya kadar veya bulunan çözümün yeterli olduğuna karar verilinceye kadar devam eder. Algoritmanın temel adımları ise şu şekildedir:

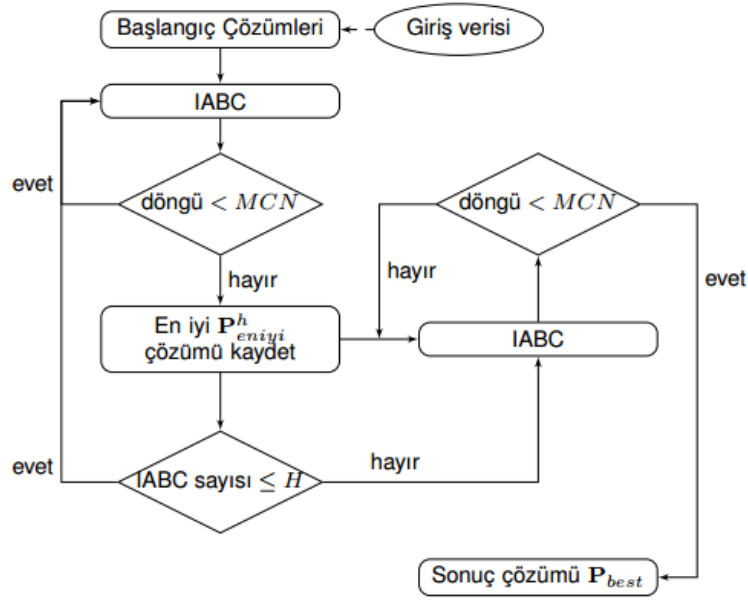
Başlangıç

Tekrarla

- İşçi arıları kaynaklara gönder ve nektar miktarlarını hesapla,
- Gözcü arıları kaynaklara gönder ve nektar miktarlarını hesapla,
- Rastgele yeni kaynaklar bulmaları için kaşif arıları gönder,
- O ana kadarki en iyi kaynağı hafızada tut,

Durdurma kriteri sağlanana kadar

Paralel-ABC algoritmasında h adet geliştirilmiş ABC (IABC) (Taşpınar ve Yıldırım, 2015) arı kolonisi birbirinden bağımsız olarak en iyi çözümü ararlar. Bulunan en iyi çözümler paylaşarak daha kaliteli çözümler bulmak için arama yapılmaya devam edilir. Şekil 9'da Paralel-ABC algoritmasının akış diyagramı gösterilmiştir:



Şekil 9. Paralel-ABC algoritmasının blok yapısı.

2.4 Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmalarının Hesaplama Süresini Düşürmek için Kullanılan Mimariler

2.4.1 GPU ve Bilgisayar Birleşik Cihaz Mimarisi (CUDA)

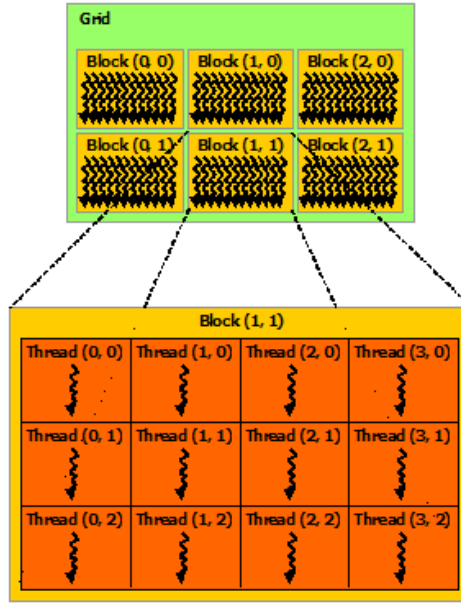
Çok sayıda işlemin daha kısa sürelerde gerçekleştirilebilmesi amacıyla birden çok bilgi işleme sisteminin işletilmesi, verilerin dağıtılarak paralel çözümleme yapılması ve sonuçların tekrar toplanarak değerlendirilmesi temelinde çalışan paralel hesaplama (dağıtık hesaplama) sistemleri büyük önem arz etmektedir. Ancak paralel hesaplama sistemleri, paralel olarak işletilen görevler arasındaki senkronizasyonun sağlanması, bellek yönetimi, hesaplama bileşenleri arasındaki iletişimin yönetimi ve genel olarak yüksek maliyetler gerektirmesi gibi zorlukları da barındırmaktadır.

Geleneksel paralel hesaplama mimarilerinin sahip olduğu bazı zorluklar, araştırmacıları daha düşük maliyetlerle yüksek hesaplama kapasitelerine sahip sistemler geliştirmeye yöneltmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmalar kapsamında 2007 yılında Owens ve arkadaşları tarafından Grafik İşlemci Birimi (Graphic Processing Unit: GPU)'nin genel amaçlı problemlerin çözümünde başarıyla kullanılabileceği gösterilmiştir (Owens vd., 2007). O tarihten sonra birçok araştırmacı ve geliştiriciler, mevcut grafik işlemcilerin genel amaçlı kullanımına ilgi göstermeye başlamışlar ve bu alandaki çalışmalarda büyük bir artış gözlenmiştir (Laguna vd., 2009).

GPU'lar içyapısı bakımından CPU'dan çok farklıdır. CPU işlemcilerde genellikle asenkron ve bağımsız çalışan 2-16 işlemci çekirdeği bulunur. Böylece her bir çekirdek aynı anda farklı veri kümelerinde farklı komutları çalıştırabilir. Buna karşılık GPU'larda paralel uygulamaların çalışmasına olanak sağlayan yüzlerce küçük işlem birimi vardır. Bu yüzden GPU'daki iş parçacığı kavramı CPU üzerindeki iş parçacığı kavramından farklıdır. GPU üzerindeki iş parçacığı işlenecek verinin bir elemanıdır. CPU ve GPU iş parçacıkları karşılaştırıldığında ise GPU iş parçacıkları daha hafiftir (Ryoo 2008). CPU ve GPU arasında hafızaya erişim hızları da birbirinden farklıdır ve bu yüzden GPU'nun hafıza düzenlemesi oldukça önemlidir.

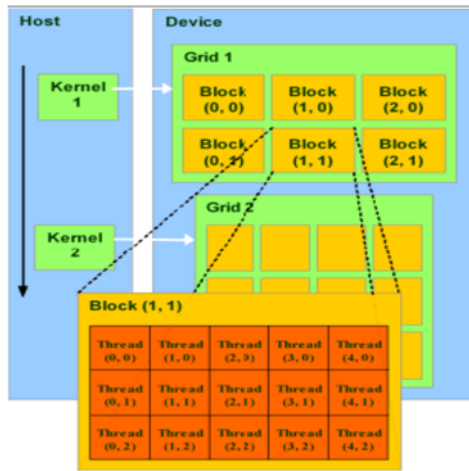
CPU ve GPU'nun bir arada kullanılmasına heterojen programlama denilmektedir. CPU'lar birçok ayrıştırma ve rastgele bellek erişimi dolayısı ile seri işlemlerde oldukça iyi sonucu verirken, GPU'lar kayar nokta işlemleri ile paralel işlemlerde daha iyi sonuç verirler. Dolayısıyla seri işlemlerde CPU, paralel işlemlerde GPU kullanılarak uygulamalardan yüksek verim alınabilir. Heterojen programlamada CPU ve GPU'dan ayrı ayrı faydalanılarak uygulamalardan yüksek verim alınması amaçlanmaktadır. Heterojen programlama ile grafik kartları üzerindeki işlem birimlerinin matematiksel işlemlerde kullanılması yaygınlaşmıştır. Bunlar da bilgisayar birleşik cihaz mimarisi (Computer Unified Device Architecture: CUDA) programlama platformunun gelişmesine önderlik etmiştir.

CUDA, GPU üzerinde oluşturulan paralel bilgi işlem ortamında genel amaçlı matematiksel işlemlerin yapılmasına olanak sağlayan uygulama geliştirme yazılımı ve programlama platformudur. CUDA, çok daha düşük maliyetlerle manuel olarak paralellik yarattığı için bu zorlukları ortadan kaldırmaktadır. CUDA'da yazılmış bir program, aslında "kernel" adı verilen seri bir programdır. GPU veri kümesinin her unsuru için kernel'in kopyasını oluşturur. Bu kernel kopyalarına "iş parçacığı" (thread) adı verilir. İş parçacıkları bloklar şeklinde organize edilebilir, aynı zamanda bloklar birlikte bir veya iki boyutlu gridleri oluştururlar.



Şekil 10. GPU'da iş parçacığı, blok, grid yapısı.

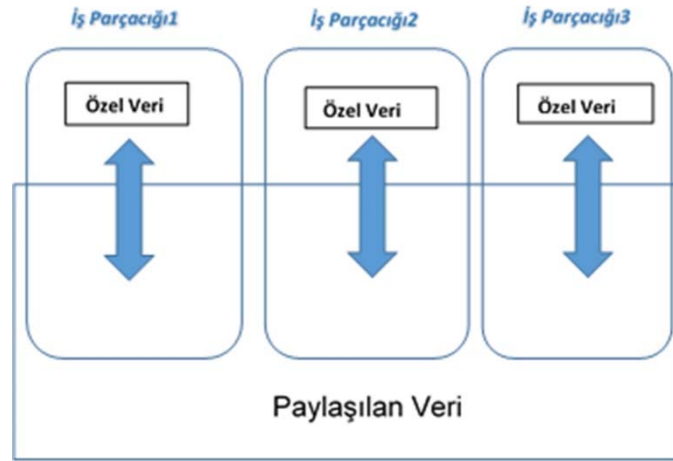
Program çalıştırıldığında CPU kodun kendisine ait olan seri kısmını, GPU ise ağır hesaplamalar gerektiren paralel CUDA kodunu çalıştırır. CPU Host, GPU ise Device olarak adlandırılmaktadır. Kernel adı verilen kodun GPU da çalışacak kısmı Device' a gönderilip hesap yoğunluklu işlemler yapıldıktan sonra tekrar Host' a veriler aktarılmaktadır. GPU, veri kümesinin her unsuru için ayrı bir kernel kopyası yaratır. Bu kernel kopyalarına Thread adı verilir. Thread'lerin birleşimiyle blok yapılar, blok gruplarının birleşimi ile ise grid yapılar oluşur. Şekil 11' de CUDA programlama modeli gösterilmektedir:



Şekil 11. CUDA Programlama Modeli.

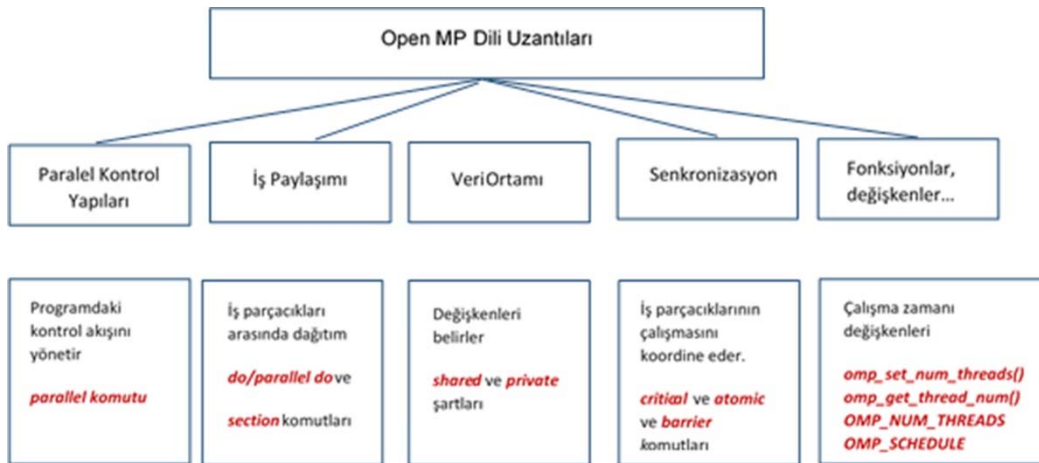
2.4.2 Açık Çoklu-İşleme (Open MP)

PAPR düşürümünde CUDA kullanımının yanı sıra Open MP teknolojisi kullanılarak paylaşımlı bellek yapısı ile performans artırımına da gidilmiştir. Openmp, Fortran, C++, C programlama dillerinde paylaşımlı bellek çoklu işlemeyi destekleyen bir paralel programlama tekniğidir (Quinn 2003). Birden çok işlemci içeren bir bilgisayarın işlemcilerini birlikte kullanan, thread (iş parçacığı) tabanlı bir uygulama programlama arayüzü (API)'dir.



Şekil 12. Open MP iş parçacığı yapısı.

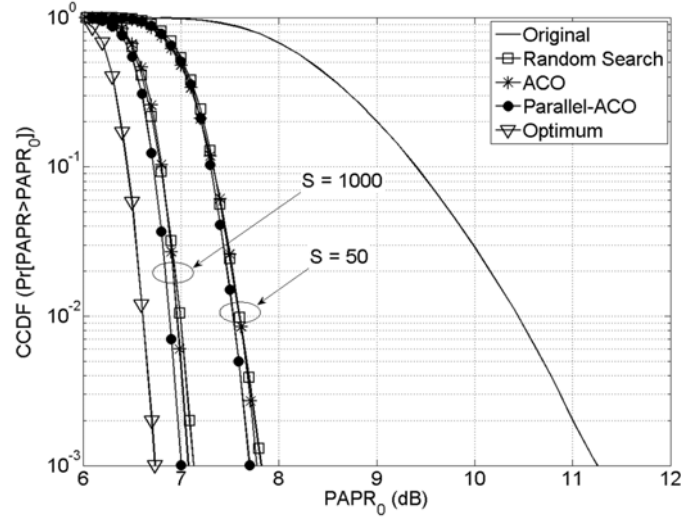
Open MP temel elemanları iş parçacığı oluşturma, iş yükü dağıtımı(iş paylaşımı), veri ortam yönetimi, iş parçacığı senkronizasyonu, kullanıcı seviyeli çalışma zamanı rutinleri ve ortam değişkenleri için yapılarıdır.



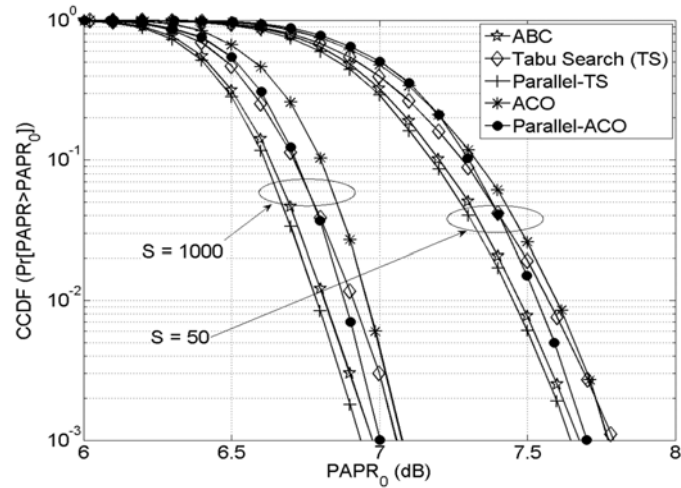
Şekil 13. Open MP Yapıları.

3. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu proje çalışmasında, ACO, Paralel-ACO, ABC, Paralel-ABC, TS ve Paralel-TS yapay zeka optimizasyon algoritmaları PAPR değerinin düşürülmesi için kullanılmıştır. Kullanılan yapay zeka algoritmaları sayesinde PTS, SLM ve TI klasik PAPR düşürme tekniklerinin hesaplama karmaşıklıklarında önemli ölçüde azalma sağlanmıştır. Ayrıca GPU ve Open MP mimarileri kullanılarak yapay zeka algoritmalarının hesaplama sürelerinde iyileştirilme sağlanmıştır.



Şekil 14. Klasik PTS (rastgele araştırma), ACO, Paralel-ACO ve optimum PTS'nin PTS tekniği için PAPR düşürme performansları.



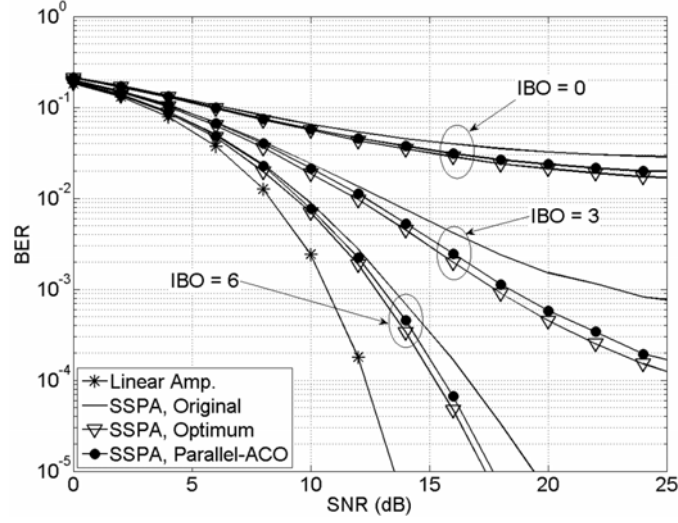
Şekil 15. ABC, TS, Parallel-TS, ACO and Parallel-ACO algoritmalarının PTS tekniği için PAPR düşürme performansları.

Şekil 14 ve 15’de ABC, TS, Paralel-TS, ACO ve Paralel-ACO algoritmalarının PTS tekniği için PAPR düşürme performansları 50 ve 1000 araştırma sayıları için OFDM sisteminde karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirmede en iyi sonucu veren algoritma Paralel-TS olurken en düşük performansa ise ACO algoritması sahiptir. Bu algoritmaların karmaşıklık analizi ve tamamlayıcı birikimli dağılım fonksiyonu (CCDF) = 10^{-3} değerindeki PAPR değerleri Tablo 1’de verilmektedir.

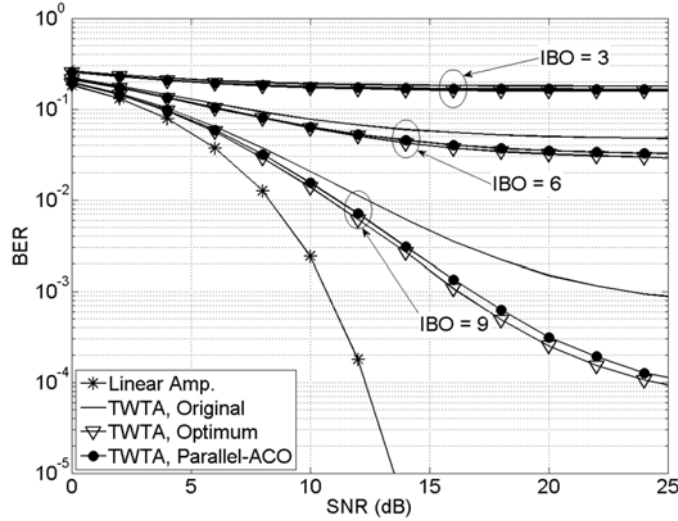
Tablo 1. PAPR düşürme algoritmalarının PTS tekniği için karmaşıklık analizi.

Algoritma	Araştırma sayısı (S)	PAPR değeri [dB] (CCDF = 10^{-3})
Original	0	11.26
Optimum-PTS	$W^r = 2^{16} = 65536$	6.74
Paralel-ACO	$[(SA \cdot n) + c] \cdot iter$ $= [(24 \cdot 4) + 4] \cdot 10 = 1000$	7.00
ACO	$SA \cdot cycle = 10 \cdot 100 = 1000$	7.07
Paralel TS	$[(maxit \cdot h) + c] \cdot iter$ $= [(11 \cdot 4) + 6] \cdot 20 = 1000$	6.93
TS	$maxit = 1000$	7.06
ABC	$B \cdot iter = 10 \cdot 100 = 1000$	6.98
RS-PTS	Rastgele seçilmiş faz faktörleri sayısı = 1000	7.13

Paralel-ACO algoritması, herbiri $SA = 24$ adet karıncaya sahip $n = 4$ adet ACO kolonisinden oluşmaktadır. Her bir koloni tarafından elde edilen en iyi sonuçlar çaprazlama işlemine tabi tutulur. Paralel-TS algoritmasında $h = 4$ TS algoritması, $maxit = 11$ iterasyon sayısınca araştırma yapmaktadır. Paralel-ACO algoritmasına benzer şekilde en iyi sonuçlar çaprazlama işlemine tabi tutulur. ABC algoritmasında ise $B=4$ adet arı 100 iterasyon sayısı boyunca araştırma yaparak en düşük PAPR değerini bulmaya çalışır.



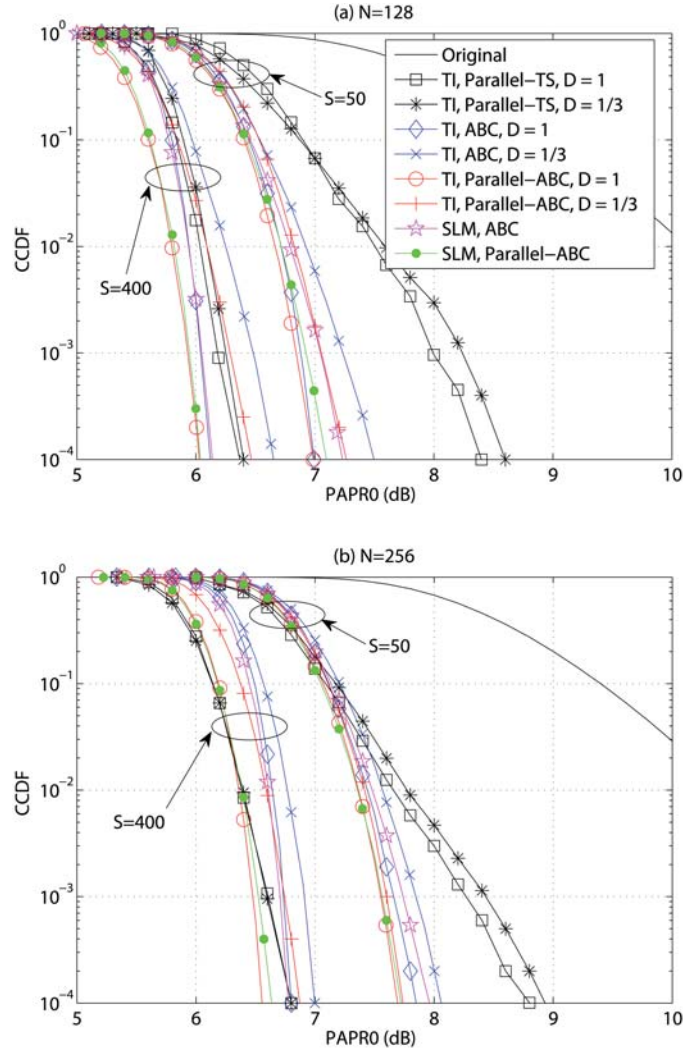
Şekil 16. Paralel-ACO algoritması ve optimum PTS tekniğinin AWGN kanalı için SSPA ($p=1$ için) kullanılması durumundaki BER performansları.



Şekil 17. Paralel-ACO algoritması ve optimum PTS tekniğinin AWGN kanalı için TWTA ($\phi=\pi/12$ için) kullanılması durumundaki BER performansları.

Şekil 16 ve 17 Paralel-ACO algoritması ($S=1000$ için), optimum PTS ve orjinal (herhangi bir PAPR düşürme tekniği uygulanmadığı durum) OFDM işareti için sırasıyla SSPA ve TWTA kuvvetlendiricileri için BER performanslarının karşılaştırılmasını göstermektedir. Burada IBO, SSPA ve TWTA'nın çalışma bölgesini, p SSPA'nın doğrusal kuvvetlendirme ölçüsünü ve ϕ de TWTA'nın işaretler üzerindeki faz döndürme oranını belirlemektedir. Paralel-ACO'nun hesaplama karmaşıklığının optimum PTS'nin hesaplama karmaşıklığına oranı $1000 / 65536$

olmasına rağmen, her iki kuvvetlendirici için de Paralel-ACO algoritmasının BER değeri, optimum PTS'nin BER değerine oldukça yakın çıkmaktadır.



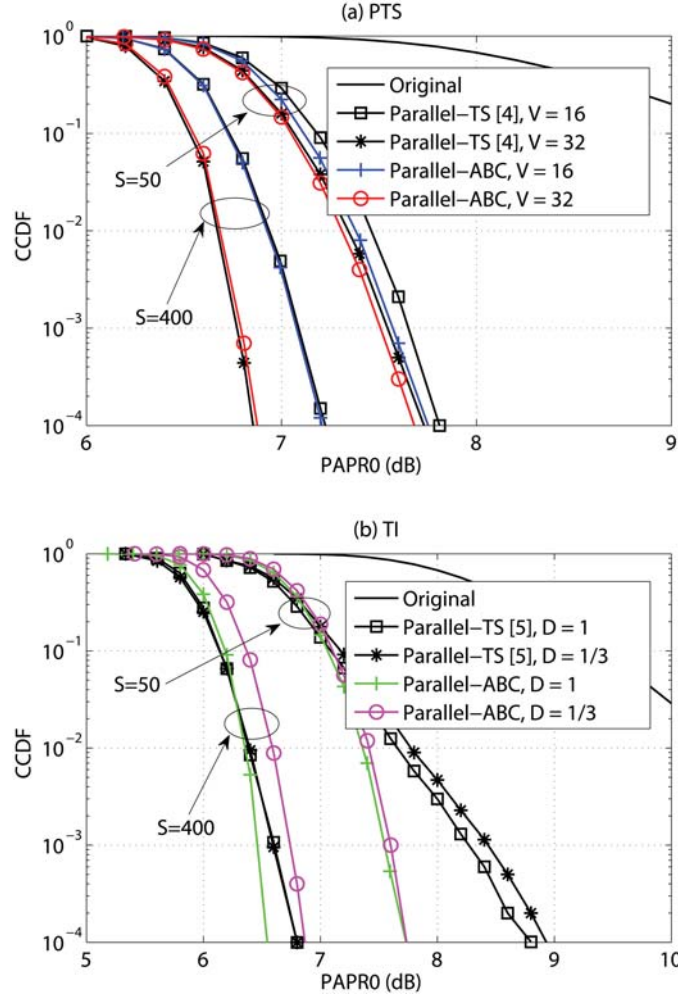
Şekil 18. ABC ve paralel-ABC algoritmalarının TI ve SLM tekniği için; paralel-TS algoritmasının TI tekniği için PAPR düşürme performansları.

Şekil 18'de ABC ve paralel-ABC algoritmalarının TI ve SLM tekniği için; Paralel-TS algoritmasının TI tekniği için PAPR düşürme performansları 50 ve 400 araştırma sayıları için karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma için geliştirilmiş II.türden karma ARQ protokolu (Kallel ve Haccoun, 1990) OFDM sistemi ile birlikte kullanılmıştır. Bu değerlendirmede en iyi sonucu veren algoritma 400 araştırma sayısı için paralel-ABC olurken, en düşük performansa ise ABC algoritması sahiptir. Burada, $D=1$ ve $D=1/3$ için PAPR değerleri kıyaslanmıştır. $D=1$ olması durumunda N adet giriş sembolünün tümü optimizasyon için düşünülmektedir. $D=1/3$ olması durumunda ise rastgele seçilmiş $N/3$ adet giriş sembolü optimizasyon için

düşünülmektedir. Şekil 18’de görüleceği gibi $D=1$ olması durumunda algoritmaların PAPR düşürme performansları daha iyi olmaktadır. Bu algoritmaların karmaşıklık analizi ve PAPR değerleri Tablo 2’de verilmektedir. Paralel-ABC algoritması her birinde $Pop=4$ adet arıdan oluşan $P=2$ adet paralel ve bir adet ana geliştirilmiş ABC (IABC) kolonisinden oluşmaktadır. Paralel IABC’ler, $L_h=13$ araştırma yaparken; ana IABC $L_m=74$ araştırma yapmaktadır.

Tablo 2. PAPR Düşürme Algoritmalarının TI tekniği için Karmaşıklık Analizi.

Algoritma	$S_0 = 400$	PAPR (dB)	
		$N_0=128$ $D=1, D=1/3$	$N_0=256$ $D=1, D=1/3$
Parallel-TS	$[(P \cdot L) + c] \cdot I$ $= [(4 \cdot 11) + 6] \cdot 8$	6.36, 6.40	6.80, 6.80
ABC	$Pop \cdot L = 4 \cdot 100$	6.13, 6.65	6.80, 7.00
Parallel-ABC	$P \cdot (Pop \cdot L_h) + Pop \cdot L_m$ $= 2 \cdot (4 \cdot 13) + 4 \cdot 74$	6.03, 6.46	6.56, 6.86

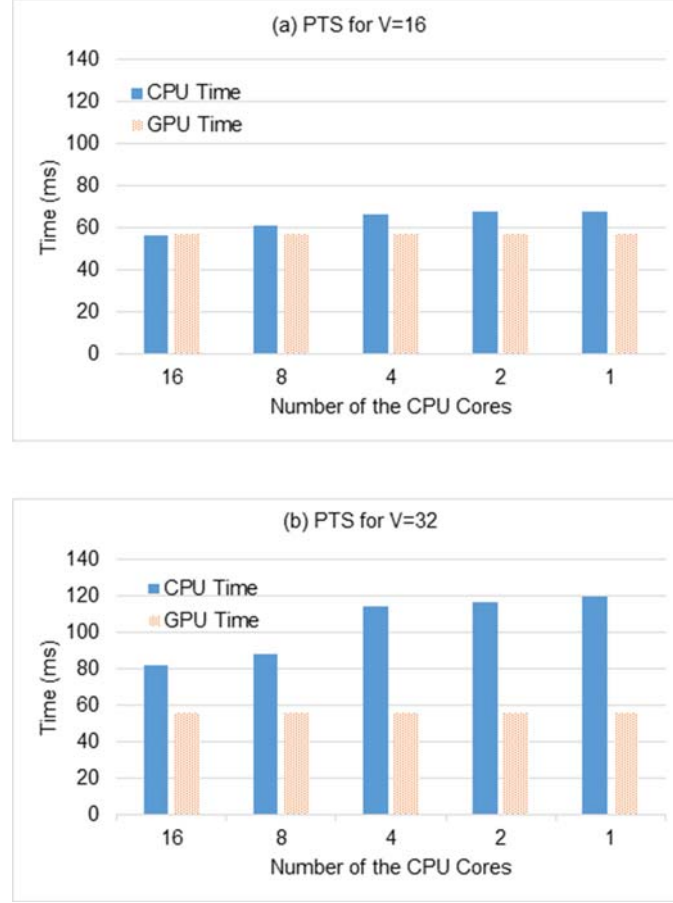


Şekil 19. Paralel-ABC ve paralel-TS algoritmalarının TI ve PTS tekniği için PAPR düşürme performansları.

Şekil 19'da Paralel-ABC ve paralel-TS algoritmalarının TI ve PTS tekniği için PAPR düşürme performansları 50 ve 400 araştırma sayıları için karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma için geliştirilmiş II. Türden karma ARQ protokolu (Kallel ve Haccoun, 1990) OFDM sistemi ile birlikte kullanılmıştır. PTS tekniği için $V=16$ ve $V=32$ altblok sayıları dikkate alınmıştır. Bu değerlendirmede paralel-ABC ve paralel-TS algoritmaları PTS tekniği için benzer PAPR düşürme performanslarına sahipken, TI tekniği için genel olarak paralel-ABC algoritması, paralel-TS algoritmasından daha iyi bir PAPR düşürme performansına sahiptir.

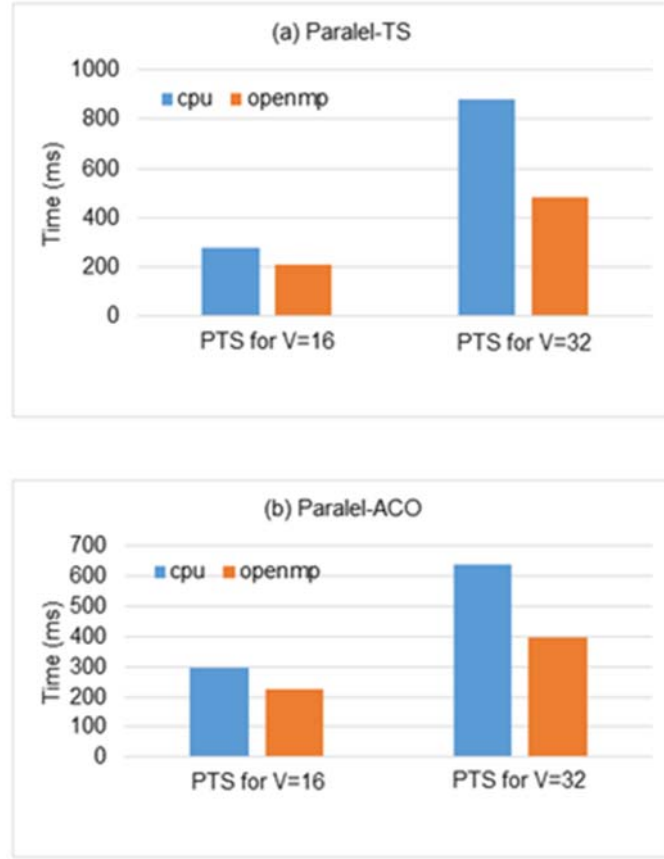
Hesaplama süresinin düşürülmesi için geliştirilen mimariler, 64 bit Windows10 işletim sisteminde, Intel XeonE5-2630 @2.40GHz 2 işlemcili CPU, 32 GB RAM, NVIDIA Quadro K4200 GPU(1344 CUDA cores, 4GB RAM) özelliklerine sahip bir bilgisayarda çalıştırılmıştır.

Hesaplama süresinin düşürülmesinde, paralel-ABC algoritması Matlab platformunda GPU ile kullanılırken, paralel-TS ve paralel-ACO algoritmaları Visual Studio 2013 platformunda C++ dilinde Open MP teknolojisi ile kullanılmıştır.



Şekil 20. Paralel-ABC algoritmasının PTS tekniği için GPU mimarisi ile hesaplama süresinin düşürülmesi.

Şekil 20’de PTS tekniği için V=16 ve V=32 altblok sayıları dikkate alınarak hesaplama süresinin düşürülmesi gösterilmektedir. Şekil 20 dikkate alındığında, GPU mimarisi ile hesaplama süresinin düşürülmesinde veri boyutunun etkisinin büyük olduğu görülmektedir. Bu durum PAPR düşürülmesinde kullanılan yapay zeka algoritmalarının hesaplama süresin düşürülmesinde de açıkça görülmüştür. Şekil 20’de GPU ile hesaplama süre kazanımının V=32 olması durumunda daha da arttığı açıkça görülmektedir. Paralel-ABC algoritmasının hesaplama süresinde V=32 altblok sayısı için GPU mimarisinin kullanılması durumunda, CPU (1 çekirdek ile) kullanılması durumuna göre % 53, CPU (16 çekirdek ile) kullanılması durumuna göre % 32 oranında bir kazanç elde edilmiştir.



Şekil 21. Paralel-TS ve paralel-ACO algoritmalarının PTS tekniği için Open MP mimarisi ile hesaplama süresinin düşürülmesi.

Şekil 21’de paralel-TS ve paralel-ACO algoritmalarının PTS tekniği için Open MP mimarisi ile hesaplama süresini düşürme performansları gösterilmektedir. GPU mimarisi ile hesaplama süresinin düşürülmesinde olduğu gibi, Open MP mimarisinde de veri boyutunun etkisinin büyük olduğu görülmektedir.

4. SONUÇ

Bu projede, MCM tekniğini kullanan kablosuz haberleşme sistemleri için mümkün olan en kısa sürede istenilen PAPR düşürümünü sağlayacak yöntemlerin geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu sayede daha hızlı veri iletimi daha yüksek bir sistem başarımı ile sağlanmıştır. Bu doğrultuda:

- 1) İstenilen PAPR düşürümü için hesaplama süresinin azaltılması,

Bu amaçla, Hesaplama süresinin düşürülmesinde Paralel-ABC algoritması Matlab platformunda GPU ile kullanılırken, Paralel-TS ve Paralel-ACO algoritmalarında Visual Studio 2013 platformunda C++ dilinde Open MP teknolojisi ile kullanılmıştır. Literatürde ilgili problem için ilk kez kullanılan bu yaklaşım sayesinde, PAPR değerini düşürmek için gerekli hesaplama süresinin önemli derecede azaltıldığı gösterilmiştir.

2) İstenilen PAPR düşürümü için hesaplama karmaşıklığının azaltılması,

Bu projede PAPR düşürmek için kullanılan PTS tekniği için Paralel-ABC ve Paralel-ACO algoritmaları, TI tekniği için Paralel-ABC algoritması önerilmiştir. Önerilen yöntemler sayesinde hesaplama karmaşıklığının azaltılması sağlanmıştır.

Proje çalışmasında önerilen Paralel-ACO tabanlı PAPR düşürülmesi, “A PAPR Reduction Method Based on Parallel Ant Colony Optimization Using PTS Scheme in OFDM systems” isimli bir çalışma ile “Asia-Pacific Conference on Engineering and Applied Science (APCEAS)” isimli uluslararası konferansta bildiri olarak sunulmuştur (Taspınar vd., 2016) ve Proje Takip Sistemine proje çıktısı olarak yüklenmiştir. Yine proje kapsamında “PAPR Reduction for HARQ with Low Computational Time Using Graphic Processing Unit (GPU)” isimli makale SCI-Expanded kapsamına giren “IEEE Wireless Communications Letters” isimli dergiye gönderilmiştir. Bu makale Ek1’de verilmiştir. Uluslararası konferansta sunulan bildiride ve dergiye gönderilen makalede, proje desteğinden dolayı TÜBİTAK’a teşekkür edilmiştir. SCI-Expanded kapsamına giren başka bir dergiye gönderilmek üzere, proje sonuç raporunda bahsedilen Open MP ile hesaplama sürelerinin azaltılması ile ilgili bir makale daha hazırlanması planlanmaktadır.

5. KAYNAKLAR

Chen, J-C. 2010. “Partial transmit sequences for PAPR reduction of OFDM signals with stochastic optimization techniques”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, 56 (3), 1229-1234.

Jimenes, V. P. G., Jabrane, Y., Armada, A. G., Said, B. A., Ouahman, A. A. 2011. “Reduction of the envelope fluctuations of multi-carrier modulations using adaptive neural fuzzy inference systems”, IEEE Transactions on Communications, 59 (1), 19-25.

Kalınli, A., Sarıkoç, F. 2008. “A Parallel Ant Colony Optimization Algorithm Based On Crossover Operation”, Advances in Metaheuristics for Hard Optimization, Z. Michalewicz and P. Siarry, Eds., SpringerVerlag, London.

Kallel, S., Haccoun, D. 1990. "Generalized type II hybrid ARQ scheme using punctured convolutional coding", IEEE Transactions on Communications, 38 (11), 1938–1946.

Laguna-Sanchez, G. A., et al., 2009. "Comparative study of parallel variants for a particle swarm optimization algorithm implemented on a multithreading GPU", Journal of Applied Research and Technology, 7 (3), 292-309.

LiNguyen, T. T., Lampe, L. 2008. "On partial transmit sequences for PAPR reduction in OFDM systems", IEEE Transactions on Wireless Communications, 7 (2), 746-755.

Lixia, M., Murrioni, M., Popescu, V. 2010. "PAPR reduction in multicarrier modulations using genetic algorithms", 12th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, 938-942.

Owens, J. et al., 2007. "A survey of general purpose computation on graphics hardware", Computer Graphics Forum, 26 (1), 80–113.

Ryoo, S., 2008. "Optimization principles and application performance evaluation of a multithreaded GPU using CUDA", 13th ACM SIGPLAN Symposium on Principles and Practice of Parallel Programming, 73-82.

Quinn, M., 2003. "Parallel programming in C with MPI and Open MP", Mc Graw-Hill Science/Engineering.

Taşpınar, N., Yıldırım, M. 2015. "A novel parallel artificial bee colony algorithm and its PAPR reduction performance using SLM scheme in OFDM and MIMO-OFDM systems", IEEE Communications Letters, 19 (10), 1830-1833.

Taşpınar, N., Kalınlı, A., Yıldırım, M. 2011. "Partial transmit sequences for PAPR reduction using parallel tabu search algorithm in OFDM systems", IEEE Communications Letters, 15 (9), 974-976.

Taşpınar, N., Karaboğa, D., Yıldırım, M., Akay, B. 2011. "Partial transmit sequences based on artificial bee colony algorithm for PAPR reduction in MC-CDMA systems", IET Communications, 5 (8), 1155-1162.

Taşpınar, N., Karaboğa, D., Yıldırım, M., Akay, B. 2011. "PAPR reduction using artificial bee colony algorithm in OFDM systems", Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 19 (1), 47-58.

Wen, J-H., Lee, S-H., Huang, Y-F., Hung, H-L. 2008. "A suboptimal PTS algorithm based on particle swarm optimization technique for PAPR reduction in OFDM systems", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 1-8, doi:10.1155/2008/601346.

Taşpınar, N., Kalınlı, A., Yıldırım, M., Benli, H. 2016. "A PAPR reduction method based on parallel ant colony optimization using PTS scheme in OFDM systems", Asia-Pacific Conference on Engineering and Applied Science (APCEAS) , Tokyo, Japan, 48-58.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Prof. Dr. NECMİ TAŞPINAR
Proje No:	114E917
Proje Başlığı:	Kablosuz Haberleşme Sistemlerinde Tepe Gücü-Ortalama Güç Oranının (Tg-Ogo) Düşürülmesi İçin Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmalarına Dayalı Paralel Hesaplama Yöntemlerinin Grafik İşlemci Birimi (Gpu) Üzerinde Gerçekleştirilmesi.
Proje Türü:	3001 - Başlangıç AR-GE
Proje Süresi:	20
Araştırmacılar:	ADEM KALINLI
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	ERCİYES Ü. MÜHENDİSLİK F. ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/02/2015 - 01/10/2016
Onaylanan Bütçe:	65946.0
Harcanan Bütçe:	45124.07

TÜBİTAK

Öz:	Günümüzde daha hızlı ve sağlıklı bir veri iletişimi isteğinin karşılanması amacı ile çok taşıyıcılı modülasyon (ÇTM) tekniğini kullanan sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlerin performanslarını olumsuz etkileyen en büyük etkenlerden birisi, işaretlerinin yüksek tepe gücü - ortalama güç oranına (TG-OGO) sahip olmasıdır. Literatürde yüksek TG-OGO'nun düşürülmesi amacı ile önerilmiş muhtelif yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerin hepsinde de başarı kriteri, TG-OGO düşürülürken ortaya çıkan hesaplama karmaşıklığı (yöntemin istenilen TG-OGO değerini kaç işlemde gerçekleştirdiğinin ölçüsüdür)?nın diğer yöntemlerle kıyaslanması şeklinde olmaktadır. Oysa yöntemlerin sahip olduğu bazı operatörlerin veya ara işlemlerin farklı hesaplama süreleri gerektirdiği bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla, yalnızca hesaplama karmaşıklığına dayalı bir karşılaştırma yapılması, yöntemlerin pratik olarak uygulanabilir olduklarını değerlendirmek için çoğunlukla yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle bir yöntemin başarısı değerlendirilirken, sadece hesaplama karmaşıklığı değil, aynı zamanda hesaplama süresi de dikkate alınmalıdır. Genel olarak büyük boyutlu problemler için hesaplama süresinin azaltılması amacıyla sıklıkla başvurulmuş yaklaşımlardan birisi paralel hesaplama yöntemleridir. Muhtelif paralel hesaplama yöntemleri olmasına rağmen, son 7-8 yıl içerisinde ekran kartlarının grafik işlemci birimi (Graphic Processing Unit : GPU) üzerine dayalı paralel hesaplama yöntemlerinin kullanılmasına olan ilgi giderek artmaktadır. GPU'ların paralel hesaplama amacıyla kullanılmasına yönelik uygulamaların artmasının temelinde ise maliyetinin düşük olması, kolay uygulanabilir olması ve bellek yönetiminin daha kolay gerçekleştirilmesi gibi muhtelif avantajlar etkili olmuştur. Bu projede, TG-OGO değerinin düşürülmesi amacıyla esnek hesaplama yöntemlerinden olan yapay zeka optimizasyon algoritmaları ve GPU'ya dayalı paralel hesaplama yaklaşımlarına dayalı yöntemler üzerine araştırma yapılacaktır. Önerilen yaklaşımlar ile literatürdeki yöntemlere göre hesaplama karmaşıklığı ve hesaplama süresi daha düşük olan yeni yöntemlerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Önerilen yöntem temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır; 1)Hesaplama karmaşıklığının azaltılmasına yönelik yaklaşımlar: Proje ekibi tarafından tek merkezi işlemci birimi (Central Processing Unit: CPU) üzerinde çalışan Paralel Tabu Araştırma algoritması, TG-OGO düşürülmesi amacı ile kullanılmış ve geleneksel yöntemlere göre daha düşük hesaplama karmaşıklığı ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Proje çalışması kapsamında, paralel karınca koloni algoritması ve diğer bazı algoritmaların TG-OGO değerinin düşürülmesi amacıyla kullanılması araştırılacak ve literatürde mevcut olan yöntemlere göre daha düşük hesaplama karmaşıklığı sunan yeni yaklaşımlar araştırılacaktır. 2)Hesaplama süresinin azaltılmasına yönelik yaklaşımlar: paralel tabu araştırma, paralel karınca kolonisi algoritması ve paralel yapay arı kolonisi algoritmaları gibi esnek hesaplama yöntemlerinin GPU üzerinde donanımsal modelleri oluşturulacak ve oluşturulacak modeller TG-OGO değerinin düşürülmesi problemine uygulanacaktır. GPU üzerinde oluşturulacak paralel modeller sayesinde hesaplama süresinde önemli azalmalar elde edilmesi beklenmektedir. Yapılan geniş kapsamlı literatür taramasında, esnek hesaplama yöntemlerinin GPU üzerinde gerçekleştirilmesine yönelik çalışmaların henüz oldukça sınırlı olduğu ve TG-OGO değerinin düşürülmesine yönelik bu tür bir çalışmanın henüz gerçekleştirilmemiş olduğu görülmüştür. Proje çalışmasının başarılı bir şekilde sonuçlandırılması durumunda, pratik olarak uygulanabilir yöntemlerin geliştirilmesi hem patent konusu teşkil edebilecek ve hem de çok sayıda bilimsel yayın üretilmesine yol açabilecektir. Ayrıca, proje çalışması kapsamında gerçekleştirilecek çalışmalar, sonuçları itibarıyla haberleşme alanında farklı uygulama alanları bulma potansiyeline de sahiptir.
Anahtar Kelimeler:	PAPR, MCM, Paralel TS algoritması, Paralel ACO algoritması, Paralel ABC algoritması, GPU.
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır
Projeden Yapılan Yayınlar:	1- A PAPR reduction method based on parallel ant colony optimization using PTS scheme in OFDM systems (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),