

DİL TEORİSİ TEMELLİ ÇOK AMAÇLI ESNEK ÇİZELGELEME ALGORİTMASININ PERFORMANS ANALİZİ

Adil Baykasoğlu

Gaziantep Üniversitesi, Endüstri Mühendisliđi Bölümü, 27310, Gaziantep

Lale Özbakır

Erciyes Üniversitesi, Endüstri Mühendisliđi Bölümü, 38039, Kayseri

Özet: Atölye çizelgeleme probleminin en genel hali olan esnek atölye çizelgeleme problemleri (EAÇP), her bir operasyon için makine esnekliği içermektedir. Problem, belirli bir performans kriterini eniyileyecek şekilde, her bir operasyon için uygun makinenin belirlenmesi (atama) ve bu makinelerde operasyonların sıralanması olmak üzere iki alt problemden oluşmaktadır. Bu çalışmada ele alınan esnek atölye çizelgeleme problemlerine, proses plan seçimi problemi de eklenerek yeni bir esneklik boyutu kazandırılmıştır. Esnek atölye çizelgeleme problemi modellenmesinde, dil teorisi kapsamında yer alan bağlam bağımsız gramerler kullanılmıştır. Probleme, Pareto optimizasyona dayalı çok objektifli tabu arama yaklaşımı ile çözüm algoritması geliştirilmiştir. Önerilen algoritmanın, C/C++ programlama dili ile yazılımı geliştirilmiş ve etkinliğinin ortaya konulabilmesi için hipotetik test problemleri ile çalıştırılmıştır. Çok objektifli tabu arama algoritmasının parametreleri ile Taguchi ve Tam Faktöryel deney tasarımları gerçekleştirilmiştir. Taguchi deney tasarımının analizi sonucunda, geliştirilen algoritmanın parametrelerinin, EAÇP'nin performansı üzerindeki etkinliklerine göre sıralamaları belirlenmiştir. Seçilen en etkili parametreler ile Tam Faktöryel deney tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tam Faktöryel deney tasarımının analizleri sonucunda, EAÇP'leri için, belirli bir güvenilirlikte performans üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olan parametreler ile bu parametrelerin en iyi performansı sağlayan düzeyleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Esnek Atölye Çizelgeleme, Dil Teorisi, Çok Amaçlı Optimizasyon*

PERFORMANCE ANALYSIS OF THE GRAMMAR BASED MULTIPLE OBJECTIVE FLEXIBLE JOB SHOP SCHEDULING ALGORITHM

Abstract: Flexible job shop scheduling problem (FJSP) which is a generalization of classical job shop scheduling problem contains machine flexibility. Problem consists of two sub-problems: assignment of operations to a machine among its alternatives and sequencing the operations on these machines such that a predefined performance measure is optimized. In this paper, an additional flexibility dimension called process plan flexibility is also included in FJSP. Context-free grammars are applied to model complex structural characteristics of FJSP. Pareto optimization based multiple objective tabu search approach is developed for solving FJSP. The proposed algorithm is implemented by using C/C++ programming language and tested on hypothetical problems to prove its effectiveness. Taguchi and Full Factorial experiments are designed and analyzed by using parameters of multiple objective tabu search algorithm. According to the results of Taguchi experiments, the order of the parameters due to their effects on performance criterion is obtained. Full Factorial design of experiments is applied on the most effective parameters. Statistical significance of effective parameters and their levels that provide the optimum performance measure are determined and analyzed.

Keywords: *Flexible Job Shop Scheduling, Linguistic Theory, Multiple Objective Optimization*

1. Giriş

Klasik atölye çizelgeleme probleminin genel hali olan esnek atölye çizelgeleme problemi (EAÇP), operasyonların uygun makine alternatiflerinden birisine atanması ve bu makinelerde çizelgenmesi olmak üzere iki alt problemden oluşur. EAÇP, farklı olarak operasyonların makinelerde atanmasını gerektirdiğinden klasik atölye çizelgeleme probleminden çok daha karmaşık bir problemdir. Bu konuda yapılan çalışmalar, problemin çözümü zor, karmaşık yapısından dolayı modern sezgisel optimizasyon teknikleri üzerinde yoğunlaşmıştır.

Brandimarte (1993) ve Chambers (1996) EAÇP için farklı tabu arama algoritmaları ortaya koymuşlardır. Mesghouni, Hammadi ve Borne (1998), Chen vd. (1999), EAÇP'ye çözüm yöntemi olarak genetik algoritma ve genetik operasyonlar üzerinde çalışmışlardır. Mastrolilli ve Gambardella (2000), esnek atölye çizelgelemeye, modern sezgisel optimizasyon tekniklerinde kullanılabilir iki farklı komşuluk fonksiyonu önermişlerdir. Kacem, Hammadi ve Borne (2002), EAÇP'nin çözümü için, Pareto

optimizasyona dayalı evrimsel algoritmalar ile bulanık mantıktan oluşan melez bir yaklaşım ortaya koymuşlardır.

2. Esnek Atölye Çizelgeleme Probleminin Modellenmesi ve Çözümü

Esnek atölye çizelgeleme problemi operasyonlar için makine esnekliği içerir. Yani her bir operasyonun işlem görebileceği alternatif makineleri söz konusudur. Bu çalışmada operasyonlar için makine esnekliğinin yanı sıra, işler için proses plan esnekliği de göz önünde bulundurularak, esnek atölye çizelgeleme probleminin kapsamı genişletilmiştir.

Esnek atölye çizelgeleme probleminin modellenmesinde Baykasoğlu (2002) tarafından ortaya konulan, dil teorisi kapsamında yer alan bağlam bağımsız gramer yapısı kullanılmıştır (Baykasoğlu, Özbakır, Sönmez, 2002). Bağlam bağımsız gramer yapısı ile, çözümü zor (NP-Zor) problemler arasında yer alan esnek atölye çizelgeleme probleminin karmaşık yapısal özellikleri, basit bir gösterimle ifade edilebilmiştir. Ayrıca uygulamada aynı anda birden çok amacın söz konusu olmasından dolayı, esnek atölye çizelgeleme problemi çok amaçlı olarak ele alınmıştır.

Proses plan esnekliği içeren çok amaçlı esnek atölye çizelgeleme problemi için, Baykasoğlu, Owen ve Gindy (1999) tarafından ortaya konulan çok objektifli tabu arama algoritması, esnek atölye çizelgeleme problemine uyarlanarak, genel bir çözüm algoritması oluşturulmuştur (Özbakır, 2004). Bu çözüm yöntemi ile, esnek atölye çizelgeleme problemi için; proses plan seçimi, operasyonların makinelere atanması ve bu makinelerde sıralanması alt problemlerine eş zamanlı olarak çözüm geliştirilmiştir. Pareto optimizasyona dayalı çok objektifli yaklaşım, çözüm sonucunda karar mekanizmasına, birden fazla uygun çözüm arasından seçim yapabilme imkanı sunmaktadır.

2.1 Çok Amaçlı Tabu Arama Algoritmasının Performans Analizi

EAÇP için önerilen çok amaçlı tabu arama algoritmasının, C/C++ programlama dili ile yazılımı geliştirilmiştir. Probleme uygulanan çok objektifli tabu arama çözüm yaklaşımı ile elde edilen sonuçların değerlendirilebilmesi amacıyla, uygun test problemlerinin oluşturulması gerekmektedir. Test problemlerinin oluşturulması için C/C++ programlama dili kullanılarak bir yazılım geliştirilmiştir. Dört farklı boyutta test problem grupları ele alınmış ve deney tasarımları gerçekleştirilmiştir. Her bir problem grubu, 3 farklı makine esnekliği ve 3 farklı proses plan esnekliği içerecek şekilde 9 test probleminden oluşmuştur.

Deney Tasarımı iki farklı aşamada planlanmıştır. Deney tasarımı içerisinde yer alacak problem parametreleri (faktörler) sayısının fazla olmasından dolayı tam faktörel deney tasarımı gerçekleştirilmeden önce Taguchi deney tasarımı oluşturulmuştur. Taguchi deney tasarımının sonucunda performans üzerinde etkili parametreler belirlenmiştir. Seçilen bu etkili parametrelerle tam faktörel deney tasarımı gerçekleştirilmiş ve ayrıntılı sonuçlar elde edilerek irdelenmiştir. Tablo 1'de, deney tasarımında ele alınan faktörler ve düzeyleri yer almaktadır. Esnek atölye çizelgeleme probleminin amaç fonksiyonları,

1. Tamamlanma zamanı
2. Makinelerin yük dengesi
3. İşlerin ortalama bekleme zamanları

Tablo 1. Faktörler ve Düzeyleri

Faktörler	Açıklama	Düzey Sayısı	Düzeyler
İS	İterasyon sayısı	2	50 100
TU	Tabu listesi uzunluğu	2	15 30
KS	Komşu çözüm sayısı	2	10 20
PPD	Çözüm dizisinde proses plan değişikliği (%)	2	20 40
OD	Çözüm dizisinde makine alternatifi değişikliği (%)	2	20 40
SKD	Çözüm dizisinde sıralama kuralı değişikliği (%)	2	20 40
PPE	Proses plan esnekliği	3	1 2 3
ME	Makine esnekliği	3	1 2 3
SKS	Sıralama kuralı sayısı	3	2 5 10

Çalışmanın ilk kısmında, türetilen 4 test problem grubunda proses plan esneklikleri, makine esneklikleri, Giffler ve Thompson algoritmasında kullanılan sıralama kuralı sayısı ile çok objektifli tabu arama faktörleri farklı düzeylerde ele alınarak, Taguchi deney tasarımı gerçekleştirilmiştir. Taguchi deney tasarımı sonucunda, faktörlerin objektif fonksiyon üzerindeki etkinlik sıralamaları elde edilmiştir. Makine esnekliği, proses plan esnekliği, sıralama kuralı sayısı ve komşu çözüm sayısı faktörleri 4 problem grubunda da en etkili ilk beş faktör arasında yer almıştır. Belirli sayıda seçilen etkili faktörlerle tam faktörel deney tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tam faktörel deney tasarımının analizi sonucunda ana

etkiler ve etkileşim grafikleri ile ANOVA birlikte değerlendirilmiştir. Etkileşim grafikleri ve ANOVA birlikte incelenmiş ve faktörler arasında ikili ve üçlü etkileşimlerin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır.

ANOVA sonuçlarına göre etkili faktörler belirlendikten sonra bu faktörlerin düzeyleri arasında performans açısından anlamlı bir farklılık olup olmadığına ilişkin değerlendirmenin yapılabilmesi için, bu faktörlere çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Çoklu karşılaştırma testlerinden elde edilen sonuçlara göre performans üzerinde etkili olan faktörlerin, hangi düzeyleri arasında performansa etkilerinin yüksek yada düşük olduğuna ilişkin bilgiler elde edilmiştir.

Tüm test problemlerinde makine esnekliği (ME) performans üzerinde en etkili faktör olarak ortaya çıkmıştır. Test problemlerinin çözümü sonucunda, makine esnekliğinin en yüksek seviyesinde en iyi performansın elde edildiği görülmüştür. Tam faktörsel deney tasarımı ana etkiler grafiklerine ve ANOVA sonuçlarına göre, test problemlerinin tamamında, makine esnekliği orta ve yüksek seviyeleri arasında, performanstaki iyileşme oranı düşüş göstermiştir. Çözüm sürecinde kullanılan sıralama kuralı sayısı, performans üzerinde etkili ikinci faktör olarak ortaya çıkmıştır. Sıralama kuralı sayısı faktörünün en yüksek düzeyi (10), tüm problemlerde en iyi performansı sağlamıştır. Proses plan esnekliği test problemlerinin performanslarında etkinliği düşük bir faktör olarak ortaya çıkmıştır. Tüm test problemlerinde yüksek proses plan esnekliği en iyi sonucu vermekle birlikte, esneklik düzeyleri arasındaki performans farkları düşüktür.

3. Sonuç

Çalışmanın sonucunda, esnek atölye çizelgeleme problemleri için geliştirilen genel çözüm algoritması ile türetilen hipotetik problemler üzerinde deneysel çalışma ve analizler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, esnek atölye çizelgeleme performansı üzerinde etkili olan faktörler ve bu faktörlerin en iyi düzeyleri belirlenmiştir. Esnek atölye çizelgeleme problemlerinde, makine esneklik düzeyi en yüksek seviyesinde en iyi performansı sergilemiştir. Çizelgelemede kullanılan farklı sıralama kurallarının sayısı çizelgeleme performansını etkileyen ikinci faktör olarak ortaya çıkmıştır. Proses plan esnekliği, çizelgeleme performansı üzerinde etkili 3. faktör olmakla birlikte, düzeyleri arasındaki performans farklılıkları düşüktür.

Kaynaklar

- Baykasoğlu, A.**, Linguistic Based Meta-Heuristic Optimisation Model for Flexible Job Shop Scheduling, *International Journal of Production Research*, 40(17), pp. 4523-4543, 2002.
- Baykasoğlu, A., Owen S., Gindy N.**, A Taboo Search Based Approach to Find the Pareto Optimal Set in Multiple Objective Optimisation, *Journal of Engineering optimization*, 31, pp. 731-748, 1999.
- Baykasoğlu, A., Özbakır L., Sönmez A.İ.**, A Multiple Objective Tabu Search Approach to Solve Flexible Job Shop Scheduling Problems by Employing Grammars, *Proceedings of 2nd International Conference on Responsive Manufacturing*, pp.789-795, 26-28 June 2002, Gaziantep, Turkey.
- Brandimarte, P.**, Routing and Scheduling in a Flexible Job Shop By Tabu Search, *Annals of Operations Research*, 22, pp. 158-183, 1993.
- Chambers, J.B.**, Classical and Flexible Job Shop Scheduling by Tabu Search, *Operations Research and Industrial Engineering*, The University of Texas, Austin, PhD Thesis, 1996.
- Chen, H., Ihlow J., Lehmann C.**, A Genetic Algorithm for Flexible Job-Shop Scheduling, *Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, Detroit, Michigan, pp.1120-1125, 1999.
- Kacem, I., Hammadi S., Borne P.**, Pareto-Optimality Approach for Flexible Job-Shop Scheduling Problems: Hybridization of Evolutionary Algorithms and Fuzzy Logic, *Mathematics and Computers in Simulation*, 60, pp. 245-276, 2002.
- Mastrolilli, M., Gambardella L.M.**, Effective Neighborhood Functions for the Flexible Job Shop Problem, *Journal of Scheduling*, 3(1), pp. 3-20, 2000.
- Mesghouni, K., Hammadi S., Borne P.**, On Modelling Genetic Algorithms for Flexible Job-Shop Scheduling Problems, *Studies in Informatics and Control*, 7(1), pp. 234-247, 1998.
- Özbakır, L.**, Çok Objektifli Esnek Atölye Çizelgeleme Problemlerinin Sezgisel Yöntemlerle Modellenmesi, Analizi ve Çözümü, Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, *Doktora Tezi*, 287 sayfa, Mart, 2004.