

PARÇA SEÇİMİ, OPERASYON ATAMA VE ALET DEPOSU YERLEŞİMİ İÇİN UZUN DÖNEM HAFIZALI BİR TABU ARAMA ALGORİTMASI

Murat Arıkan, Serpil Erol

Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06570, Maltepe, Ankara

Özet: Esnek İmalat Sistemlerinde (EİS) üretime başlamadan önce verilmesi gereken kararları içeren planlama problemleri, sistem kaynaklarının verimli kullanımı, dolayısıyla sistemin etkin işletiminin sağlanması açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, EİS planlama problemleri arasında yer alan parça seçimi, operasyon atama ve alet deposu yerleşimi problemleri ele alınmış ve ortak bir karışık tamsayı programlama modeli ile ifade edilmiştir. Ancak, problemin kombinatorial bir yapıya sahip olması, büyük boyutlu problemlerin matematiksel modeller yardımıyla çözümlerini güçleştirmektedir. Bu nedenle, problemin çözümü için uzun dönem hafızalı bir tabu arama algoritması geliştirilmiştir. Algoritmanın etkinliği, rassal olarak üretilmiş farklı büyüklükteki problemler üzerinde test edilmiş ve elde edilen sonuçlar matematiksel model çözümleriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Esnek İmalat Sistemleri, Planlama Problemleri, Parça Seçimi, Matematiksel Modelleme, Tabu Arama*

A TABU SEARCH ALGORITHM WITH LONG TERM MEMORY FOR PART SELECTION, OPERATION ASSIGNMENT AND TOOL MAGAZINE CONFIGURATION

Abstract: FMS planning problems are crucial for providing an efficient use of a system including the decisions that have to be taken before the system starts to operate. This study entails joint operation of part selection, operation assignment and tool magazine configuration problems and develops a joint mixed integer programming model. Unfortunately, the combinatorial structure of the problem makes the solution difficult and time consuming for real-world size problems by using the proposed model. Therefore, a tabu search algorithm with long-term memory is developed to solve the problem. The performance of the algorithm is tested on the random generated problems with different sizes and results are compared with those of the mathematical model.

Keywords: *Flexible Manufacturing Systems, Planning Problems, Part selection, Mathematical Modelling, Tabu Search*

1. Giriş

Esnek İmalat Sistemleri (EİS), orta hacim/orta çeşit talebe yönelik üretim yapan işletmelerde karşılaşılan problemleri ortadan kaldırmak için geliştirilmiş otomasyona dayalı sistemlerdir. EİS'lerin temel amacı atelye tipi üretimin esnekliği ile kitle tipi üretimin etkinliğini aynı üretim sisteminde birleştirmektir. Standart olarak kullanılan bir tanımlama olmamakla birlikte bir EİS, bilgisayar kontrollü altında çalışan bir malzeme taşıma sistemiyle birbirine bağlanmış bilgisayar sayısal kontrollü (CNC) ya da sayısal kontrollü (NC) makinalardan oluşan ve birbirinden farklı parçalar üretebilen bir üretim sistemi olarak tanımlanabilir. EİS'ler değişen pazar şartlarına daha kolay karşılık verebilmek amacıyla geleneksel üretim sistemlerine bir alternatif olarak geliştirilmişlerdir, ancak kurulmaları için büyük sermaye yatırımlarına ihtiyaç vardır. Bu sistemlerden beklenen faydanın sağlanabilmesi etkin bir şekilde planlanmalarından ve işletilmelerinden geçmektedir. Bu çalışmada Stecke'nin (1983) tanımladığı planlama problemleri arasında yer alan parça seçimi, operasyon atama ve alet deposu yerleşimi problemleri için ortak bir karışık tamsayı programlama modeli geliştirilmiş ve uzun dönem hafızalı bir tabu arama algoritmasıyla çözülmüştür.

2. Problemin Varsayımları ve Matematiksel Model

Burada gözönüne alınan EİS alet depolarıyla donatılmış m tane çok amaçlı makina içermektedir. Makinaların sahip oldukları alet depolarının kapasiteleri belirlidir. Sistemde üretilmeyi bekleyen i farklı parça tipi vardır ve her parça bir veya daha fazla operasyondan oluşmaktadır. Her operasyonun bir kesici alet kullanılarak gerçekleştirilebildiği ve bir veya daha fazla makinada işlenebildiği varsayılmaktadır. Tüm operasyonların makina işlem zamanları, operasyonlar tarafından gerek duyulan kesici aletler ve alet depolarında kapladıkları alan bilinmektedir. Problemin amacı, üretim oranını en büyüleyecek şekilde bir

sonraki üretim çevriminde üretilecek parçaların belirlenmesidir. Bir sonraki üretim çevriminde işlenecek parçalar bir kere belirlendikten sonra, parçaların hepsi tamamlanıncaya kadar alet depolarının yüklerinde bir değişiklik yapılmamaktadır. Sistem hazırlama her üretim çevriminin başlangıcında gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen matematiksel model aşağıdadır.

$$\text{Max} \sum_{i=1}^I W_i Y_i \quad (1)$$

$$M. \left(\sum_{(i,k) \in J_m} P_{ikm} \cdot V_{ikm} + O_m - U_m \right) = \sum_{i=1}^I T_i \cdot Y_i \quad \forall m \quad (2)$$

$$\sum_{m \in M(i,k)} V_{ikm} = Y_i \quad \forall i, \forall k \quad (3)$$

$$V_{ikm} \leq \sum_{t=1}^T TM_{ikmt} \cdot R_{tm} \quad \forall i, \forall k, \forall m \quad (4)$$

$$\sum_{t=1}^T s_t \cdot R_{tm} \leq C_m \quad \forall m \quad (5)$$

$$\sum_{m=1}^M R_{tm} \leq nb_t \quad \forall t \quad (6)$$

$$V_{ikm} \in (0,1) \quad \forall i, \forall k, \forall m \quad (7), \quad Y_i \in (0,1) \quad \forall i \quad (8), \quad R_{tm} \in (0,1) \quad \forall t, \forall m \quad (9),$$

$$U_m, O_m \geq 0 \quad \forall m \quad (10)$$

Problemin ifade edildiği matematiksel model, sahip olduğu değişkenlerden de anlaşılabilir gibi karışık tamsayılı bir programlama modeli, dolayısıyla da kombinatoriyal bir problemdir. Ayrıca, Hwan ve Shogan (1989), parça seçim probleminin NP-zor bir problem olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada ele alınan problem, parça seçiminin yanında operasyon atamalarını (makina yükleme) yapan kısıtları da içermektedir. Dolayısıyla, gerçek hayatta karşılaşılabilecek büyüklükteki problemlerin, makul bir zaman dilimi içerisinde, yukarıda verilen tamsayılı programlama modeliyle çözülmesini beklemek pek mantıklı bir yaklaşım değildir. Bu nedenle, problemin çözümü için bir tabu arama algoritması geliştirilmiştir.

3. Tabu Arama Algoritması

Tabu Arama (TA), kombinatoriyal problemlerin çözümü için önerilmiş yüksek seviyeli bir sezgisel programlama tekniğidir (Glover (1989, 1990)). Tekniğin kombinatoriyal bir optimizasyon problemine uygulanması için bir takım kararların alınması gereklidir. Bu çalışmada söz konusu kararların nasıl verildiği aşağıda açıklanmıştır.

Problemin çözüm kümesi, t aletinin m makinasına atanıp atanmadığını gösteren $R[t,m]$ değişkenleriyle tanımlanmış, başlangıç çözümü rassal olarak elde edilmiştir. Bir çözümden diğerine geçmekte kullanılan hareket mekanizması ekleme/çıkarma olarak belirlenmiştir. Yapılan bir hareketin tabu olarak tanımlanması ve yapılacak bir hareketin tabu olup olmadığının kontrolü için, ekleme ve çıkarma olmak üzere, iki ayrı tabu listesi kullanılmıştır. Mevcut çözümün komşuları arasında incelenecek aday çözümlerin seçilmesinde rassallıktan faydalanılmıştır. Tabu kısıtlamalarının ne zaman ihmal edileceğini belirleyen tabu yıkma kriteri olarak, amaca göre tabu yıkma kriteri kullanılmıştır. Bu kriter gereği, gerçekleştirilen bir hareket, mevcut iterasyona kadar bulunmuş en iyi çözümden daha iyi bir sonuç veriyorsa, tabu olup olmadığına bakılmaksızın seçilir. Algoritmanın kısa dönem hafızalı kısmı, en iyi çözüm değişmeden belli bir iterasyon sayısı geçtikten sonra durdurulmaktadır. Bu çalışmada aramanın çeşitlendirilmesini, yani çözüm uzayındaki farklı bölgelerin araştırılmasını, sağlamak amacıyla hareket değerlerinin değiştirilmesi stratejisi kullanılmıştır. Hareket değerlerinin değiştirilmesinde, uzun dönem hafızada tutulan “geçicilik sıklığı” bilgisinden yararlanılmıştır. Hareket değerlerinin değiştirilmesinde, geçicilik sıklığının ceza bilgilerine dönüştürülmesi vasıtasıyla gerçekleştirilir. Her iterasyonda değiştirilmek üzere seçilen değişken ya da değişkenlere ait geçicilik sıklığı oranı bir ceza katsayısı ile çarpılarak orijinal amaç fonksiyonundan çıkarılır ve değiştirilmiş bir amaç fonksiyonu değeri elde edilir. Kullanılan yoğunlaştırma stratejisiyle de, arama boyunca karşılaşılan ve iyi çözümler içerdiği gözlenen arama alanlarına dönüş yapılarak daha detaylı araştırılmaları amaçlanmaktadır. Buna göre ilk önce, çeşitlendirme stratejisinin eklendiği kısa dönem hafızalı tabu arama algoritması çalıştırılır ve arama boyunca bulunan çözümler sınırlı boyuttaki bir listeye kaydedilir. Bu liste elit çözümler listesi olarak

adlandırılır. Kısa dönem hafızalı algoritmanın durdurma koşulu sağlandığında, listenin en başındaki çözüm (listedeki en iyi çözüm) başlangıç çözümü olarak alınarak kısa dönem hafızalı tabu arama tekrar çalıştırılır. Arama esnasında listedekilerden daha iyi bir çözüm bulunursa listeye eklenir. Liste uzunluğunu sabit tutmak için yeni çözümler eklendikçe daha düşük kaliteli çözümler listeden çıkarılır. Listeye kayıtlı her elit çözümle algoritma yeniden başlatılırken, kısa dönem hafıza bilgileri korunmakta ve geçicilik sıklıkları silinmemektedir.

4. Deneysel Çalışma

Geliştirilen tabu arama algoritmasının etkinliği rassal olarak üretilmiş farklı büyüklükteki (farklı makina, parça, operasyon, alet sayılarına sahip) 8 problem üzerinde test edilmiştir. Performans ölçütü olarak, test problemlerinin tabu arama algoritması ile çözümlerinden elde edilen sonuçların matematiksel model çözümlerinden (GAMS paket programı ile) oransal farkı kullanılmıştır. GAMS programıyla yapılan koşullarda 259200 CPU sn'lik (3 günlük) bir süre limiti tanımlanmış ve bu sürenin sonunda bulunan amaç değerleri karşılaştırmalarda kullanılmıştır. Tabu arama algoritması TurboPascal programlama diliyle kodlanmış ve tüm denemeler Pentium III 933 MHz. işlemcili bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada algoritma parametrelerinden tabu süreleri, ekleme ve çıkarma hareketleri için birbirine eşit olarak alınmış ve 5 olarak belirlenmiştir. Aday liste uzunluğu, problem çözümünde yeralan değişken sayısının % 15'i olacak şekilde, problem büyüklüğüne orantılı olarak saptanmıştır. Algoritmanın kısa dönem hafızalı kısmının durdurma koşulu olarak seçilen en iyi çözüm değişmeden geçecek iterasyon sayısının 1000, tüm algoritmanın durdurma koşulunu ifade eden elit liste uzunluğunun da 3 olmasına karar verilmiştir. Hareket değerlerinin değiştirilmesinde kullanılan ceza katsayısı ise 50 olarak seçilmiştir. Tüm problemler yukarıda tanımlanan parametre seti kullanılarak ve her biri farklı başlangıç çözümleriyle 5'er kez çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, problemlerin tam sayılı programlarının GAMS ile çözümlerinden elde edilen amaç ve üstsınır değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Uzun dönem hafızalı tabu arama algoritmasının test problemleri üzerindeki performansı

Pr. No.	Problem Boyutu				GAMS		Tabu Arama				(1)'den % sapma	(2)'den % sapma
	m	i	k	t	Çözüm (1)	Üst sınır (2)	min	max	ort	ort. CPU		
1	5	20	3	20	513	513	513	513	513	19,64	0,00	0,00
2	5	20	5	30	390	390	390	390	390	19,83	0,00	0,00
3	5	30	3	20	765	765	765	765	765	35,80	0,00	0,00
4	5	30	5	30	660	669	660	660	660	30,24	0,00	1,34
5	8	30	3	30	471	471	467	471	468,6	33,67	0,51	0,51
6	8	30	5	40	579	605	571	579	575,8	41,36	0,55	4,83
7	8	40	3	40	946	946	946	946	946	39,77	0,00	0,00
8	8	40	5	50	520	531	517	520	519,4	73,97	0,12	2,18

5. Sonuç

Bu çalışmada, EİS'lerin planlama aşamasında yer alan parça seçimi, operasyon atama ve alet deposu yerleşimi problemleri ortak bir karışık tamsayı programlama modeli olarak ifade edilmiş ve çözümleri için uzun dönem hafızalı bir tabu arama algoritması geliştirilmiştir. Algoritmanın performansı, rassal olarak üretilmiş farklı boyutlarda 8 problem üzerinde test edilmiş ve oldukça iyi sonuçlara kısa sürelerde ulaşıldığı görülmüştür.

Kaynaklar

- Glover, F.**, Tabu Search-Part I. *ORSA Journal on Computing*, 1(3), 190-206, 1989.
Glover, F., Tabu Search-Part II. *ORSA Journal on Computing*, 2(1), 4-32, 1990.
Hwan S.S., Shogan A.W., Modelling and solving an FMS part selection problem. *International Journal of Production Research*, 27, 1349-1366, 1989.
Stecke, K.E., Formulation and Solution of Nonlinear Integer Production Planning Problems for Flexible Manufacturing Systems. *Management Science*, 23(3), 273-288, 1983.