

MEKANİK SİSTEMLERİN TASARIMINDA TAMSAYILI PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI

Yiğit Koray Genç, Fahri Buğra Çamlıca, Tolga Bektaş
Başkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06530, Ankara

Özet: Elektro-mekanik sistemlerin tasarımında kullanılması gereken mekanik ve elektronik aksamının, yüzlerce alternatif parça arasından tasarlanan sistemden beklenen performans ölçütlerini eniyileyecek bileşimini bulmak önemli bir seçim problemidir. Bu çalışmada, mekanik sistemlerin parça seçimi tasarımının tamsayıli programlama ile eniyilenmesi ele alınmıştır. Örnek bir mekanik sistem olarak, uzaktan kumandalı model uçaklar ele alınmış ve uçağın net kaldırma kuvvetini enbüyükleyen ekipman, kanat, kasa tiplerinin ve güç sistemlerinin, çeşitli kısıtlar altında seçimini yapan bir tamsayıli karar modeli geliştirilmiştir. Ortaya çıkan modelin çözüm sonuçlarına değinilecektir.

Anahtar Kelimeler : Seçim Problemi, Tamsayıli Programlama, Mekanik Sistem

1. Giriş

Elektro-mekanik sistemlerin parça tasarımında amaç, kullanılan mekanik ve elektronik aksamın, sistemin herhangi bir performans ölçütünü eniyileyecek şekilde seçilmesidir. Ancak, tipik bir elektro-mekanik sistem için seçilebilecek parça sayısı ve bunların kombinasyonları yüksek miktarlarda olduğundan, doğru seçimin yapılması önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, söz konusu parça seçiminin tamsayıli doğrusal karar modeli ile yapılması önerilmiş; seçilen bir örnek sistem üzerinde bu yaklaşımın rahatlıkla uygulanabileceği gösterilmiştir.

Bu çalışmada tasarım eniyilemesi için, örnek olarak bir uzaktan kumandalı model uçak ele alınmıştır (bkz. Şekil 1.). Uzaktan kumandalı uçaklar, güç sistemi, kasa ve elektronik aksam olarak 3 alt sistemden oluşmaktadır. (Joel M. Grasmeyer, Matthew T. Keennon , 2001)



Şekil 1. Model uçak ve ekipmanları

Güç sistemi, uçağın havalanması için gerekli olan kaldırma kuvvetini sağlayan sistemdir, itki seti ve pilden oluşmaktadır. Bu sistemin girdisi volt ve amper olarak elektrik enerjisi, çıktısı ise gram olarak kaldırma kuvvetidir. İtke seti motor, vites dişlisi ve pervaneden oluşan bir settir. Piyasada birbirinden farklı yaklaşık 90 adet itke seti mevcuttur. Her birinin ağırlığı ve 5 değişik güç seviyesinde verdikleri kaldırma kuvveti değerleri mevcuttur. Dolayısıyla güç sistemi için en az 450 alternatif vardır. Piyasadaki pil ise kapasiteleri, voltaj değerleri ve dolayısıyla güç değerleri açısından değişiklik göstermektedir ve yaklaşık 342 adet değişik pil tipi söz konusudur.

Kasa uçağın tüm parçalarını kanatlar vasıtasıyla taşıyan sistemdir. Kasa tipleri, kanat alanları ve ağırlıkları bakımından birbirinden farklılık göstermektedir.

Elektronik Aksam ise alıcı, servo ve elektronik hız kontrol sisteminden oluşmaktadır. Bu aksam uçağın yerde kontrol edilmesini sağlamaktadır.

Piyasada bulunan 20'den fazla kasa çeşidi tespit edilmiş ve teknik özellikleri saptanmıştır. Tüm güç sistemlerinin ağırlıkları, değişik voltaj ve akım değerlerinde verdikleri kaldırma kuvvetleri, piller ve onlara ait voltaj, akım, ağırlık ve güç değerleri, kasa tipleri ve kanat özellikleri bir veritabanında toplanmıştır.

2. Problem ve Karar Modeli

Bu bölümde, ele alınan probleme uygun bir karar modeli verilmiştir. Model uçağın parça seçimi için t adet farklı itki seti, her itki setine ait bir güç seviyesi (t_i), bu seti çalıştıracak m değişik pil ve uçağın ana iskeletini oluşturabilecek p tane farklı kasa tipi mevcuttur. Ele alınan parça seçimi problemi, uçak için net kaldırma kuvvetini en büyükleyen bir itki seti, bir pil tipi ve miktarı ile bir kasa tipinin belirlenmesi şeklinde ifade edilebilir.

Modele ilişkin parametreler ve karar değişkenleri aşağıda verilmiştir.

Karar değişkenleri:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, i. \text{ itki setinin } j. \text{ güç durumu seçilirse} \\ 0, d.d \end{cases} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, t; j = 1, 2, 3, \dots, t_i)$$

$$Y_k = \begin{cases} 1, k. \text{ pil tipi seçilirse} \\ 0, d.d \end{cases} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, m)$$

$$T_b = \begin{cases} 1, b. \text{ kasa tipi seçilirse} \\ 0, d.d. \end{cases} \quad (b = 1, 2, 3, \dots, p)$$

$$n_k : k. \text{ tip pil adedi} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, m)$$

Parametreler:

R_b : b . kasa tipinin ağırlığı (gr.)

A_b : b . kasa tipi için kanat alanı (cm^2)

Φ_{ij} : i . itki setinin j . güç seviyesinde çalıştırılması durumunda elde edilen kaldırma kuvveti (gr.)

α_i : i . İtki setinin ağırlığı (gr.)

β_k : k . pil tipinin birim ağırlığı (gr.)

W_k : k . pil tipinin verdiği güç miktarı (watt)

I_k : k . pil tipinin verdiği akım miktarı (amper)

V_k : k . pil tipinin verdiği voltaj miktarı (volt)

W_{ij} : i . itki setinin j . alternatif durumunda çalıştırılabilmesi için gerekli güç miktarı (watt)

I_{ij} : i . itki setinin j . alternatif durumunda çalıştırılabilmesi için gerekli akım miktarı (amper)

V_{ij} : i . itki setinin j . alternatif durumunda çalıştırılabilmesi için gerekli voltaj miktarı (watt)

WL_{enk} : Birim kanat alanına düşen en küçük yük değeri (gr./cm^2)

WL_{enb} : Birim kanat alanına düşen en büyük yük değeri (gr./cm^2)

Bu tanımlamalara göre karar modeli aşağıdaki gibidir:

$$n_k \cdot W_k - X_{ij} \cdot W_{ij} \geq 0, \quad \forall (i, j), \forall k \quad (1)$$

$$Y_k \cdot I_k - X_{ij} \cdot I_{ij} \geq 0, \quad \forall (i, j), \forall k \quad (2)$$

$$n_k \cdot V_k - X_{ij} \cdot V_{ij} \geq 0, \quad \forall (i, j), \forall k \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{t_i} X_{ij} = 1, \quad \forall i \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^m Y_k = 1, \quad \forall k \quad (5)$$

$$\sum_{b=1}^p T_b = 1, \quad \forall b \quad (6)$$

$$n_k - M \cdot Y_k \leq 0, \quad \forall k, M \gg 0 \quad (7)$$

$$WL_{enk} \cdot A_b \cdot T_b - X_{ij} \cdot \alpha_i - n_k \cdot \beta_k - R_b \cdot T_b \leq 0, \quad \forall (i, j), \forall k, \forall b \quad (8)$$

$$X_{ij} \cdot \alpha_i + n_k \cdot \beta_k + R_b \cdot T_b - WL_{enb} \cdot A_b \cdot T_b \leq 0, \quad \forall (i, j), \forall k, \forall b \quad (9)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall (i, j) \quad (10)$$

$$Y_k \in \{0,1\}, \quad \forall k \quad (11)$$

$$T_b \in \{0,1\}, \quad \forall b \quad (12)$$

$$n_k \geq 0 \text{ ve tamsayı}, \quad \forall k \quad (13)$$

k.a.

$$\text{enb } z = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r \{X_{ij} \cdot \phi_{ij}\} - \sum_{i=1}^t \{X_{ij} \cdot \alpha_i\} - \sum_{k=1}^m \{n_k \cdot \beta_k\} - \sum_{b=1}^p \{R_b \cdot T_b\} \quad (14)$$

(1). kısıt, n tane pilin verdiği güç değerinin, i . itki setinin j . durumunun gerektirdiği güç değerinden büyük yada eşit olmasını, (2). kısıt, pilin vermiş olduğu akım değeri, i . itki setinin j . durumunun gerektirdiği akım değerinden büyük yada eşit olmasını, (3). kısıt, n tane pilin vermiş olduğu volt değeri, i . itki setinin j . durumunun gerektirdiği volt değerinden büyük yada eşit olmasını, (4). kısıt, yalnız bir itki setine ait tek bir güç değerinin dikkate alınması gerekliliğini, (5). kısıt, tek bir tip pilin kullanılabilceği, (6). kısıt, bir çeşit kasanın seçilebileceği, (7). kısıt, k . tip pil seçilmez ise, kullanılan k . tip pil sayısının, 0'a eşit olması gerekliliği, (8). kısıt, oluşturulacak model uçağın, toplam ağırlığının, kanat alanına oranının belirli bir değerden büyük yada eşit olması gerekliliği, (9). kısıt, oluşturulacak model uçağın, toplam ağırlığının, kanat alanına oranının belirli bir değerden küçük yada eşit olması gerekliliğini, (10)-(13). Kısıtlar ise, sözkonusu karar değişkenlerinin tam sayı koşullarını ifade etmektedir. Amaç fonksiyonu ise bu kısıtlar altında en büyük net kaldırma kuvvetini vermektedir. (Arora, J., 1989), (Batill S.M., Stelmack M. A., Yu X. Q., 1999)

3. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, elektro-mekanik bir sistemin parça seçimine yönelik bir tamsayı programlama modeli önerilmiştir. Sözkonusu modelin, büyük boyutlu bir tam sayılı model olduğu açıkça görülebilir. Ancak, modelin doğrudan çözümünün, örnek bir problem için beklenenin aksine, kolaylıkla elde edildiği görülmüştür. Örnek olarak, 90 itki seti ve 342 pilden oluşan bir parça seçim problemi için önerilen modelin özel bir hali CPLEX 8.0 kullanılarak 35 saniyede çözülebilmektedir. Ancak model, benzer ve genişletilmiş değişik problemler için de kullanılabilir. Bildiride, değişik problemler için modelin performansına yer verilecektir.

Kaynaklar

Arora, J., "Introduction to Optimum Design", McGraw Hill, Chapter 2, pp 20-58, 1989.
Batill S.M., Stelmack M. A., Yu X. Q., "Multidisciplinary Design optimization", Aircraft Design, 1999.
Joel M. Grasmeyer, Matthew T. Keennon, "Development of the Black Widow Micro Air Vehicle", The American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2001.