

## BENZETİMLİ TAVLAMA TEKNİĞİNİ KULLANAN ENİYİLENMİŞ GÖRÜNTÜ VE VIDEO İŞLEME ÜZERİNE KISA BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bahadır KARASULU<sup>1</sup>

### ÖZET

Günümüzde benzetimli tavlama (simulated annealing) tekniği popüler bir teknik olarak eniyileme için yapay zekâ alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tekniğin; görüntü işleme, video işleme, yazılım ve diğer alanlarda ele alınan problemlerin daha kısa sürede en uygun sonuçla (optimal) çözümünde gösterdiği önemli başarı nedeniyle geçtiğimiz yıllar içerisinde literatürdeki çalışmalarda tercih edilme ve kullanım oranı artmıştır. Çalışmamızda 2010 ilâ 2018 yılları arasında yayınlanmış görüntü ve video işleme problemlerinin ele alındığı 10 adet yayın incelenerek literatürde geline en son durum sistematik bir biçimde ortaya konularak bulgular üzerinden yorumlanmıştır. Buna göre benzetimli tavlama tekniği ve bununla melezleme yoluyla oluşturulan yaklaşımlar kombinasyonel eniyileme problemlerinin daha uygun sonuçlarla daha kısa sürede ve yüksek başarımlı olarak çözülebilmesine olanak sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü işleme, yapay zekâ, makine öğrenmesi, eniyileme, yazılım.

### A BRIEF LITERATURE REVIEW ON OPTIMIZED IMAGE AND VIDEO PROCESSING USING SIMULATED ANNEALING TECHNIQUE

#### ABSTRACT

Nowadays, the simulated annealing is often used as a popular technique in the field of artificial intelligence for optimization. This technique achieves a significant success for solving the problems in the field of image processing, video processing, software, and others that its solution is optimally obtained in a shorter time. In the last years due to its success, its rate of preference has increased. In our study, 10 publications dealing with image and video processing problems published between 2010 and 2018 were examined, thus, the latest state in the literature was introduced in a systematic way and interpreted through findings. Accordingly, the combination of the simulated annealing technique and hybrid approaches allow the optimization problems to be solved in a shorter time and with higher efficiency with more appropriate results.

**Keywords:** Image processing, artificial intelligence, machine learning, optimization, software.

#### GİRİŞ

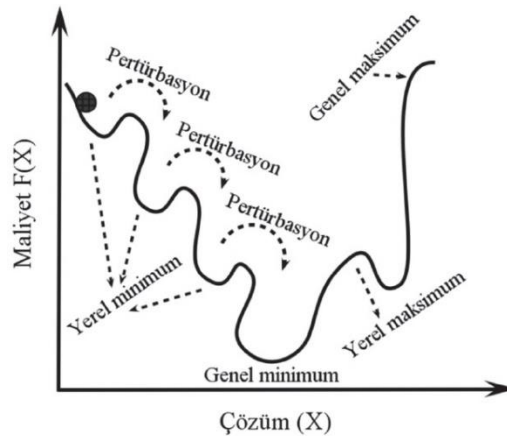
Benzetimli tavlama (BT) tekniği, yapay zeka teknikleri arasında oldukça popüler bir yerel arama ve esnek hesaplama için eniyileme (optimizasyon) tekniğidir (Karasulu, 2010). BT tekniği, zor kombinasyonel eniyileme problemlerinin çözülmesinde kullanılmaktadır. Kirkpatrick et al. (1983) tarafından başlatılan çalışmaları, Cerny (1985) takip etmiştir. Bu çalışmalar, Metropolis et al. (1953) çalışmalarını kendilerine temel almışlar ve bunlarda katıların tavlama sürecine benzer olarak, eniyileme problemleri ele alınmıştır. Görüntü işleme, yapay zekâ ve yönelem araştırmalarında da BT çözümleri kullanılmaktadır. Bir kombinasyonel eniyileme probleminin çözümü için döngüsel aramanın aksine, BT tekniğinin de içerisinde bulunduğu yerel arama tarzı aramalarda, genel bir mekanizma bir düzenleştirmeden (configuration) bir diğerine geçişe izin vermektedir. Var olan sistemi sarsma veya değişikliğe uğratma (pertürbasyon) yoluyla şu anki (geçerli) düzenleştirmede küçük bir hareket yapılmaktadır (Sharma, 2008). Böylece problem için mümkün en uygun (optimal) çözüm sonuçlarına ulaşılmaktadır. Çalışmamızda, uluslararası 10 adet yapay zekâ ve makine öğrenmesi alanı kapsamındaki bilimsel yayın incelenerek, BT tekniğinin bu yayınlardaki kullanım şekline ve bu yayınlara eniyileme açısından kazandırdığı başarımlı iyileştirmelerini temel alan değerlendirme yapılmaktadır. Çalışmamızdaki, "Yöntemler" bölümünde BT tekniğinin teknik detaylarına yer verilirken, "Bulgular" bölümünde yukarıda bahsi geçen yayınların teknik detaylarına, "Sonuçlar" bölümünde ise yapılan inceleme sonucunda varılan nihai değerlendirmelere yer verilmektedir.

#### YÖNTEMLER

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, E-posta: bahadirkarasulu@comu.edu.tr

Literatürdeki, BT çalışmalarının temelleri, katıların yüksek bir derecede ısıtılmasının ardından dereceli bir soğutmanın takip ettiği ısı işlem sürecinin (tavlama) benzetimine dayanmaktadır. Sıcaklık düşürülmeye başlandığında, moleküler parçacıklar bağımsız enerjinin azalması ile daha düşük enerjili düzenlemlerde dizileceklerdir (Sharma, 2008). Eğer soğutma yeterince yavaş yapılırsa, sıfır sıcaklığında katı genel olarak minimum enerjili düzenleme ulaşacaktır. Verilen bir sıcaklıkta gerçekleştirilen birkaç geçiş için kabul edilmiş düzenlemler bir Markov zincirini oluşturmaktadır. Bir Markov zinciri bir geçişler dizisi olarak görülebilir. Burada verilen bir geçiş sadece bir önceki geçişe bağlıdır. Yeni oluşturulan düzenlemin maliyeti yerel aramada belirlenmekte ve bu maliyet önceki düzenlemin maliyeti ile karşılaştırılmaktadır. Yeni düzenlemin kabul edilebilmesi yeni düzenleme maliyetinin önceki maliyetten az olmasına bağlıdır, eğer az ise kabul edilir ve böylece daha ileri iyileştirmeler için temel alınarak kullanılır. Ayrıca, yeni düzenlemin reddedilmesi önerilen pertürbasyon sırasında eğer maliyette bir artış gözleniyorsa gerçekleşmektedir. Başka bir pertürbasyon eski düzenlemin referans olarak kullanılması ile sağlanmaktadır (Sharma, 2008). Komşuluklar bu yolla oluşturulmakta ve maliyetlerine bakılarak ilgili düzenlemler işlenmektedir. Eğer verilen bir düzenleme kendi komşularından herhangi birisinden daha büyük maliyete sahip değilse yapılan arama sonlandırılmaktadır (Karasulu, 2010). Verilen maliyet fonksiyonu birden çok yerel minimuma sahip olabilir. Düşük maliyetli yerel minimum eğer tüm düzenlemler içerisinde en düşük maliyete sahip ise, bu genel minimumdur. BT prosedürü pertürbasyon tabanlı aramalar nedeniyle yerel bir minimumda da sonlanabilmektedir. Böyle bir durumda bir oluşturma mekanizması birden çok arama noktası için diğer yerel minimumların mevcudiyetinin belli olmasında kullanılabilir. Alternatifler göz önüne alındığında, yerel olmayan pertürbasyonlara izin verecek şekilde bu aramalar değiştirilebilir. Ayrıca, başka genel çözümler elde edebilmek için de bu aramalar oluşturulabilir (Sharma, 2008).

Şekil 1’de BT tekniği sayesinde yerel minimuma takılmaktan pertürbasyon yoluyla kurtulmanın şematik gösterimi verilmektedir. Burada pertürbasyon terimi, sisteme ait düzenin bozulması anlamı ile rasgeleliği belirtmektedir (Karasulu, 2010).



Şekil 1. BT tekniğini kullanarak yerel minimumdan kurtulma (Karasulu, 2010).

tarafından bir eniyileme problemi verilen *Maliyet(z)* maliyet fonksiyonu kullanılarak çözülmektedir. Her bir eniyileme problemi için BT işletilirken uygun çözümlerin bir kümesi olan  $Z$  'nin varlığında, her bir  $z$  çözümü bir *Maliyet(z)* maliyet fonksiyonuna sahip olmaktadır. Minimum maliyet fonksiyonunun uygun bir çözümünü bulmak BT için ana amaçtır (Karasulu, 2010). Bu fonksiyon, karar değişkenlerini (decision variables) içeren bir amaç fonksiyonu (objective function) olarak bilinmektedir. Bir komşuluk tanımlamasının bu çözüm için uygun bir arama algoritması içerisinde yapılması gerekmektedir. Bir çözümün komşusu, bir veya daha fazla değişkenin değerinin değiştirilmesiyle yapılan "hareket" in şu anki çözüm için yapılması yoluyla elde edilen yeni bir çözüm kümesidir. BT algoritması sezgiseldir, genel (global) en iyi çözümü bulmayı garanti etmez. BT tekniğinin avantajlı yanı, çözüm için yerel minimumda takılmadan kurtulmayı sağlamasıdır. BT algoritması rasgele bir arama yapmaktadır. Bu arama ile amaç fonksiyonunun değerini azaltan değişiklikler kabul edilebildiği gibi, bazen bu fonksiyonun değerini artıracak değişiklikler de kabul edilebilmektedir. Sistemin sıcaklığı ile doğru orantılı olarak ve soğutma çizelgesine (cooling schedule) bağlı kalınarak daha iyi veya kötü bir çözüme hareket edilir. Eğer yerel optimuma takılma yaşandıysa, bunu tekrar ısıtma (reheating) yoluyla çözmek mümkündür (Karasulu, 2010). Şu anki çözümden yeni bir komşu çözüme olan hareket, Boltzmann dağılımının özel bir haline uygun olacak şekilde enerji karşılaştırmasına dayanarak yapılır. Genel bir klasik BT algoritmasının kaba kodu (pseudo-code) Şekil 2'deki gibi şöyle verilebilir (Karasulu, 2010).

```

PROCEDURE BenzetimliTavlama
BEGIN
  z ← Z deki ilk çözüm
  T ← ilk sıcaklık T0
DO
  DO
    z* ← Komşu(z)
    ΔMaliyet = Maliyet(z*) – Maliyet(z)
    IF (ΔMaliyet < 0) OR (Kabul(ΔMaliyet,T)) THEN z ← z*
  END IF
UNTIL DengeDurumu
  T ← Azalt(T)
UNTIL DonmaNoktası
END

```

Şekil 2. BT tekniğine ait algoritmanın kaba kodu (Karasulu, 2010).

Genel bir BT algoritması, rasgele olarak seçilen ilk çözümle çalışmaya başlar. Algoritmadaki *Komşu(z)* fonksiyonu sayesinde, hesaplanılan amaç fonksiyonu (objective function) için gerekli değişiklikler ve uygun mekanizma tarafından bir komşu çözüm oluşturulur (Karasulu, 2010). BT algoritmasının uygulamalarında *Azalt(T)* fonksiyonu,  $T_0$  ile sıfır arasında azalan değer olarak sifıra gider, buna "*soğutma çizelgesi*" denilmektedir. Genel bir soğutma çizelgesi sırasıyla; tavlama süreci için başlangıç sıcaklığını, sonlandırma sıcaklığını, sıcaklığın azaltılması kuralını ve her bir sıcaklıktaki geçişlerin sayısını belirtmektedir (Sharma, 2008). Bu çizelgelerin çeşitleri olarak; logaritmik, geometrik ve doğrusal gibi birçok alternatif bulunmaktadır. Şekil 2'de verilen kaba koddaki *Kabul(ΔMaliyet, T)* şeklindeki fonksiyon kullanılarak, belirli bir kabul olasılık fonksiyonu (Metropolis karar kriteri) uyarınca yeni bir çözüm düzenleştirmenin kabul edilip edilmeyeceğinin belirlenebilmesi için şu anki adımdaki sıcaklık ( $T$ ) için enerji değişimi ( $\Delta E$ ) kontrol edilir (Metropolis et al., 1953). Eğer yeni çözüm daha iyi bir enerji değerine sahipse kabul edilir, değilse kabul olasılık fonksiyonuna göre kabul edilir. Şekil 3'te Metropolis karar kriteri gösterilmektedir (Karasulu, 2010).

$$P(T_a) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } \Delta E \leq 0 \text{ ise.} \\ \exp\left(\frac{-\Delta E}{T_a}\right), & \text{eğer } \Delta E > 0 \text{ ise.} \end{cases}$$

Şekil 3. Metropolis karar kriteri (Metropolis et al., 1953).

Burada  $T_a$ ,  $a$  adındaki (şu anki) sıcaklıktır. Buradaki kontrol ilk önce sıfır ilâ bir aralığında rasgele bir sayı seçilmesi ile yapılır. Bu kabul kuralı, Metropolis karar kriteri olarak bilinir ve buna ait algoritma eniyilemenin bir çeşiti olarak Metropolis et al. (1953) tarafından geliştirilerek literatüre sunulmuştur (Karasulu, 2010). BT tekniğinin görüntü ve video işleme için eniyileme amacıyla kullanımına ilişkin 2010 yılı öncesi literatürdeki yapılan bazı çalışmalara baktığımızda, video akıtım (video streaming) sunucularının dağıtık depolama kümesinde yerleşme ve video kopyasını yineleme (replikasyon) probleminin ele alınarak, ölçeklenebilir kodlama bit oranları ile video nesneleri için BT tabanlı sezgisel algoritmalar önerilmiş olduğunu (Zhou and Xu, 2007), yüklü parçacık modelinin görüntü bölütleme ve şekil kurtarma için deforme olabilen fizik tabanlı bir model olarak alınmasıyla BT tekniğinin bu parçacıkları konumlandırmak için kullanıldığını (Everts et al., 2007), BT tabanlı görüntü restorasyon algoritması yarı tonlamalı (half-toning) renk-nicemlenmiş (color-quantized) görüntülerin onarımında kullanıldığını (Fung and Chan, 2006) ve kümeleme tabanlı görüntü sıkıştırma yaklaşımında (benzetimli) tavlama stratejisi ve Hopfield sinir ağı'nın harmanlandığını (Kaya, 2005) görmekteyiz. Burada bahsi geçen temellerden ve uygulamalardan dolayı BT tekniğinin literatürdeki görüntü işleme, video işleme gibi geniş çaplı araştırma alanlarında yapay zekâ ve makine öğrenmesi temelli çalışmalarda kullanımına oldukça sık rastlanmaktadır.

## BULGULAR

Çalışmamızda, yapay zekâ ve makine öğrenmesi alanı kapsamındaki uluslararası çeşitli bilimsel dergilerde 2010 ilâ 2018 yılları arasında yayınlanarak yer alan 10 adet bilimsel yayın incelenmiş olup, bunların BT tekniğini ne amaçla kullandığı, eniyileme yoluyla başarımlarda değişikliğin nasıl olduğuna yer verilmektedir. Bu çalışmalara yakından bakıldığında; Lin et al. (2010) çalışmasında, verilen bir görüntünün steganografik şemaya uygun biçimde içerisine bilgi gizlenip gizlenmediğini analiz etmede piksel veya katsayı değişimlerinin aranmasına dair bir kapalı devre hesaplama ana çatısı önerilmiştir. Bu yolla eniyilemesi yapılmış bir görüntünün kalitesine dair yapılan aramanın, uygun bir maliyet fonksiyonuna sahip BT tabanlı bir kontrolcü ve anti-steganaliz sınavıcısı üzerinden yapılabildiği belirtilmiştir. Chang (2011) çalışmasında, uzaktan algılamadaki hiperspektral görüntülerden öznitelik elde etmede BT tekniğinin kullanımı önerilmiştir. Bunun için üç-boyutlu BT modüler özuzay (eigenspace) tanımlanarak modüler özuzay eniyilemesi yapılmıştır. Bu sayede farklı veri kaynakları ile ilişkili farklı spektrumlardan gelen düzeltilmiş öznitelikler birleştirilmiştir. Li and Ma (2012) çalışmasında, ikili biçimde (binary) verilen tomografi görüntülerinin tekrar oluşturulmasında karşılaşılan problemlerin çözülmesinde BT tekniğinin kullanımı bu problemin bir ikili fonksiyonun minimizasyonu halinde BT sayesinde çözüldüğüne dair sonuçlara yer verilmiştir. Singh and Dixit (2013) çalışmasında, parmak izi görüntülerinin depolanması ve tekrar kullanımında özörgütlemeli harita ağı (self-organizing map) ve Hopfield yapay sinir ağlarının melezlenmesine dayanan ve bu iş için eniyilemede BT tekniğini temel alan bir örüntü kullanımının uyarlanması hata olasılığının en aza indirilmesi yoluyla yapıldığı belirtilmiştir. Schwegmann et al. (2014) çalışmasında, sentetik açıklık radar görüntülerinde doğru seçilmiş eşik değeri kullanıldığında sabit yanlış alarm oranı yöntemiyle denizdeki gemilerin belirlenebildiğine değinilerek, bu eşik değerini içeren düzlemin oluşturulmasında BT tekniğinin kullanımına dayanan bir yaklaşım önerilmiştir. Bu sayede daha doğru tespit sonuçları elde edilmiştir. Wang et al. (2015) çalışmasında, en küçük kareleri tabanlı destek vektör makineleri (support vector machine, SVM) ve BT tabanlı parçacık sürü eniyilemesi (particle swarm optimization, PSO) kullanan görüntü tekrar oluşturma algoritması önerilmiştir. Martins et al. (2016) çalışmasında, Elektriksel Empedans Tomografi (EET) görüntüsünün tekrar oluşturulması probleminin bir eniyileme problemi olarak çözülebileceğine değinilerek, bu problemin çözümünde BT tekniği ile empedans alanının benzetimi için sonlu elemanlar yönteminin bir kombinasyonu kullanılmıştır. Sonuçlar başarılı olmuştur. Tavares et al. (2017) çalışmasında, EET görüntüsünün tekrar oluşturulmasında BT tekniğinin kullanımı sırasında ekran kartının (GPU) kullanılmasıyla işlemin hızlandırılması üzerine yoğunlaşmıştır. Tek işlemcili (CPU) sistemine göre GPU kullanımı ile BT tekniğini temel alan eniyileme sürecine dair işlemler koşturularak beş kat hızlanma elde edilmiştir. Çalışmanın oldukça başarılı olduğu da böylece kanıtlanmıştır. Fang et al. (2018) çalışmasında, faz modülasyonu tarafından sağlanan ince saçılma materyalinin arkasındaki görüntünün tekrar oluşturulmasını, saçılan ışığın BT tekniği kullanılarak modüle edilmesiyle eniyilenmiş faz maske görüntüsünün kullanılabilmesi belirtilmiştir. Tekrar oluşturulan görüntüler genetik algoritma ve BT tekniğinin birlikte kullanımıyla en iyi hale (optimal) getirilmiştir. Deneysel sonuçlar önerilen bu yaklaşımın başarılı ve hızlı olduğunu göstermiştir. Medjaded and Ouali (2018) çalışmasında, hiperspektral görüntü sınıflandırmada öznitelik seçimi için bir anaçatı önerilmiştir. Öznitelik seçimi bir kombinasyonel eniyileme problemi olarak ele alınmış ve bu probleme ait amaç fonksiyonunun BT tekniği kullanarak eniyilemesi yapılmıştır. Yapılan deneylerle önerilen anaçatının sınıflandırma doğruluk oranını önemli derecede iyileştirdiği kanıtlanmıştır. Bu çalışmalara bakılarak bir değerlendirme yapılacak olursa, BT tekniğinin esnek hesaplama (soft computing) kapsamında birden çok hesaplama bileşeninin sinerjisiyle ortaya çıkacak yeni melez zeki sistemlerin oluşturulmasındaki kullanımının önümüzdeki yıllarda da artarak süreceği görülmektedir.

## SONUÇLAR

Literatür taraması sonucu, çalışmalarda genellikle bir veya birkaç parametre temel alınarak eniyileme yapılmaya çalışıldığı ve çok fazla sayıda çalışmada da melez yaklaşımlara yer verildiği görülmektedir. Bu çalışmalarda, genellikle genetik algoritmalar, evrimsel algoritmalar, yapay sinir ağları gibi yapay zekâ ve makine öğrenmesi alanındaki teknikler BT ile harmanlanarak daha optimal çözümlere ulaşılmaya çalışıldığı görülmektedir. Görüntü işleme konusunda, literatürdeki çalışmalar bölütleme ve kümeleme konularında BT tabanlı olan yaklaşımlar veya BT ile harmanlanan diğer teknik ve yöntemlerin kullanımına odaklanmaktadır. Başarım artışı, optimal eniyileme ile sağlanmaktadır. Bunun için çoğu çalışmada amaç fonksiyonu, bir enerji fonksiyonu biçiminde tasvir edilerek bunu en aza indireyen veya stabil değere getiren yaklaşımlar için BT veya benzeri teknikler, yöntemler kullanılmıştır.

## REFERANSLAR

Cerny, V. (1985). A Thermodynamical Approach to the Traveling Salesman Problem: an Efficient Simulated Annealing Algorithm. *J. Optimiz. Theory Appl.*, 4, 41-55.

- Chang, Y.-L. (2011). A simulated annealing feature extraction approach for hyperspectral images. *Future Generation Computer Systems*, 27(4), 419-426, ISSN 0167-739X, doi: 10.1016/j.future.2010.08.008.
- Everts, M.H., Bekker, H., Jalba, A.C., & Roerdink, J.B.T.M. (2007). Particle based image segmentation with simulated annealing. *SIREN: Scientific ICT Research Event Netherlands*, 30 October 2007, TU Delft (poster).
- Fang, L., Zuo, H., Pang, L., Yang, Z., Zhang, X., & Zhu, J. (2018) Image reconstruction through thin scattering media by simulated annealing algorithm. *Optics and Lasers in Engineering*, 106, 105-110, ISSN 0143-8166, doi: 10.1016/j.optlaseng.2018.02.020.
- Fung, Y-H., & Chan, Y-H. (2006). A simulated annealing restoration algorithm for restoring halftoned color-quantized images. *Signal Processing: Image Communication*, 21(4), 280-292.
- Karasulu, B. (2010). Videolarda hareketli nesne tespiti ve takibi için benzetimli tavlama tabanlı bir başarımlı eniyileme yaklaşımı. Doktora tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 255 Sayfa, İzmir, Türkiye.
- Kaya, M. (2005). Image Clustering and Compression Using An Annealed Fuzzy Hopfield Neural Network. *International Journal of Signal Processing, World Academy of Science, Engineering and Technology*, 1-2, 80-88.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C., & Vecchi, M., 1983, Optimization by Simulated Annealing, *Science*, 220:671-680.
- Li, X., & Ma, L. (2012). Minimizing binary functions with simulated annealing algorithm with applications to binary tomography. *Computer Physics Communications*, 183(2), 309-315, ISSN 0010-4655, doi:10.1016/j.cpc.2011.10.011.
- Lin, G. S., Chang, Y. T., & Lie, W. N. (2010). A Framework of Enhancing Image Steganography With Picture Quality Optimization and Anti-Steganalysis Based on Simulated Annealing Algorithm. *IEEE Transactions on Multimedia*, 12(5), 345-357, doi: 10.1109/TMM.2010.2051243.
- Liu, J., Tong, X., Li, W., Wang, T., Zhang, Y. & Wang, H. (2009). Automatic player detection, labeling and tracking in broadcast soccer video. *Pattern Recognition Letters, Video-based Object and Event Analysis*, 30(2), 103-113.
- Martins, T.d.C., Tsuzuki, M.d.S.G., Camargo, E.D.L.B.d., Lima, R.G., Moura, F.S.d., & Amato, M.B.P. (2016). Interval Simulated Annealing applied to Electrical Impedance Tomography image reconstruction with fast objective function evaluation. *Computers & Mathematics with Applications*, 72(5), 1230-1243, ISSN 0898-1221, doi:10.1016/j.camwa.2016.06.021.
- Medjahed, S.A., & Ouali, M. (2018). Band selection based on optimization approach for hyperspectral image classification. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, In Press (Corrected Proof)*, ISSN 1110-9823, doi:10.1016/j.ejrs.2018.01.003.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A.W., Rosenbluth, M.N., Teller, A.H. & Teller, E. (1953). Equation of State Calculations by Fast Computing Machines. *Journal of Chemical Physics*, 21(6), 1087-1092.
- Schwegmann, C. P., Kleynhans, W., & Salmon, B. P. (2014). Simulated annealing CFAR threshold selection for South African ship detection in ASAR imagery. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 561-564. Quebec City, QC, 2014. doi: 10.1109/IGARSS.2014.6946484.
- Sharma, N. (2008). Simulation Optimization Using Simulated Annealing: A Network-based Implementation and Study of Cooling Schedules. VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken, Germany, 116p., ISBN-10: 3639085957, ISBN-13: 978-3639085952.
- Singh, M. P., & Dixit, R. S. (2013). Optimization of stochastic networks using simulated annealing for the storage and recalling of compressed images using SOM. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(10), 2383-2396, ISSN 0952-1976, doi:10.1016/j.engappai.2013.07.003.
- Tavares, R.S., Sato, A.K., Martins, T.C., Lima, R.G., & Tsuzuki, M.S.G. (2017). GPU acceleration of absolute EIT image reconstruction using simulated annealing. *Biomedical Signal Processing and Control, In Press (Corrected Proof)*, ISSN 1746-8094, doi:10.1016/j.bspc.2017.02.007.
- Wang, P., Lin, J.S., & Wang, M. (2015). An image reconstruction algorithm for electrical capacitance tomography based on simulated annealing particle swarm optimization. *Journal of Applied Research and Technology*, 13(2), 197-204, ISSN 1665-6423, doi:10.1016/j.jart.2015.06.018.
- Zhou, X., & Xu, C-Z. (2007). Efficient algorithms of video replication and placement on a cluster of streaming servers. *Journal of Network and Computer Applications*, 30(2), 515-540.