

SUMMARY

In this paper, methods of computer aided composition throughout the historical growth of computer music as well as the new directions in this field are surveyed. Following an examination of the concept of 'algorithmic composition', main approaches to computer aided composition are classified and exemplified. Brief explanations of methods collaborated by various topics such as artificial intelligence, fractals, iterated functions, neural networks, Markov chains, cellular automata and genetic algorithms are given, outlining notable examples of past and current research in this field.

Geçtiğimiz yüzyıl içinde, sesin dijital ortamda kaydının gerçekleştirilebilmesi ve bilgisayarların işlem hızı ve bellek kapasitelerinin giderek artması gibi gelişmeler sonucunda, ses üzerinde çeşitli işlemlerin yapılabilmesi bakımından neredeyse sınırsız denebilecek olanaklar doğmuştur. Bu olanaklar kayıt teknolojisi ve ses işleme tekniklerindeki gelişmelerin ötesinde, bilgisayarın 'müziğin yaratılması' sürecinde kullanılmasına yönelik araştırmalara da ivme kazandırmıştır.

Bilgisayarlı müzik sistemlerinin öncülerinden F. Richard Moore, bilgisayar müziğinin dünü ve bugününü incelediği bir makalesinde bu alanın ortaya çıkışı ile Francis Bacon'ın bir romanındaki düşlem arasındaki ilginç ilişkiyi şöyle anlatmaktadır: "Francis Bacon, döneminin yargılarından farklı bir düşünceyle, 'bilginin temelinin doğaya ilişkin gözlemlere dayanması gerektiğini' belirterek modern bilimin gelişmesine uyarıcı bir katkıda bulunmuştu. Bacon'ın 1626'da, ölümünden iki yıl önce yazdığı *The New Atlantis*' adlı roman, bugün bilimkurgu olarak tanımlanan türdeki ilk yapıt olarak kabul edilir. Yapıtta Atlantik Okyanusu'nun biryerinde gemi kazası geçiren denizcilerin düşsel bir adada karşılaştıkları bir toplum anlatılmaktadır. Denizcilere adadaki 'harikalar' gezdirildikçe, Bacon, üzerinde araştırma yapılan doğanın çeşitli özelliklerini betimler. Bu 'araştırma bölgeleri'nin birinden şöyle sözedilmektedir:

'Her türlü sesi ve üretimini uyguladığımız ve sergilediğimiz ses evlerimiz var. Çeyrek seslerden ve daha küçük ses dilimlerinden oluşan, sizde olmayan armonile-rimiz var. [...] Kısa sesleri geniş ve derin olarak, benzer biçimde geniş sesleri kısaltılmış ve keskin olarak simgeliyoruz. Her türlü artikülasyonlu sesi, harfi, yara-tıkların ve kuşların seslerini ve notalarını simgeliyoruz. [...] Aynı zamanda, çok çeşitli tuhaf ve yapay yankılar elde ediyoruz: [...] bazıları aslından daha şiddetli yansıyan, bazıları sesteki harfleri [...] dönüşüme uğratan. Ayrıca sesleri kutular ve borularla tuhaf hatlar ve uzaklıklar boyunca iletmek için yöntemlerimiz var.'

The New Atlantis'ten alınan bu paragrafta Bacon, ilk olarak günümüzden yaklaşık 50

yıl önce üniversitelerde ve araştırma laboratuvarlarında, olağanüstü çalgıların düşünür kuran insanlar tarafından yaratılan 'bilgisayar müziği' adlı modern alanı hemen hemen 'mükemmel' bir yakınlıkta betimlemiştir. Bacon'ın düşlerinden çoğunun gerçekleşmesi yüzyıllar sürmüştür. A.G. Bell 19. yüzyılda telefon olarak bilinen 'sesleri kutular ve borularla tuhaf hatlar ve uzaklıklar boyunca iletme yöntemi'ni bulmuştur. 'Çeşitli tuhaf ve yapay yankılar'ın elde edilemediği modern kayıt stüdyoları düşünülemez. *Phase vocoder* (ses kodlayıcı) gibi bilgisayar müziği teknikleri, 'kısa sesleri geniş ve derin, geniş sesleri kısa ve keskin olarak simgelememize' izin vermektedir."¹

Moore'a göre Bacon'ın en önemli düşü, "her türlü sesi ve üretimini uygulayabilmek ve sergileyebilmek" olmuştur.

'Algoritmik Kompozisyon' Kavramı

Müziğin oluşturulmasında bilgisayar, sesi sentezlemek, müzik parçasının yapısını belirlemek, ya da hem yapıyı belirlemek hem de sesi sentezlemek için kullanılabilir. Kompozisyon (besteleme) sürecinde bilgisayarın kullanılması, kompozisyon sürecinin algoritmalarla anlatılmaya uygun özellikler taşımasının beklenen bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. (Algoritma, izlendiğinde belli bir işi yerine getiren sonlu sayıda ve iyi tanımlanmış komutlar dizisidir.²) Bu uygulamayla birlikte yerleşen 'algoritmik kompozisyon' kavramı için getirilen bazı tanımlar şunlardır:

"Algoritmik kompozisyon, müzik besteleme sürecine rijit, iyi tanımlı bir algoritmanın uygulanmasıdır."³

"Algoritmik kompozisyon müziksel kısımları (şeyleri, öğeleri) bir bütün (kompozisyon) haline getirme sorununu (işini) [sonlu sayıda adımda] çözmek (başarmak) için bir dizi (küme) kural (komutlar, işlemler)* olarak tanımlanabilir."⁴

"Otomatikleştirilmiş (*automated*) kompozisyon, en az insan müdahalesiyle müzik yapmak için bazı formel süreçlerin kullanılması süreci anlamına gelir."⁵

Algoritmik kompozisyon, bilgisayarın kompozisyonda kullanılmasına koşul olarak ortaya çıkmış bir adlandırma olmakla birlikte, algoritmanın niteliğine ve karmaşıklığına da bağlı olmak koşuluyla, algoritmik yöntemlerle müzik yapmak için bilgisayarın her zaman gerekli olmadığını da bu noktada belirtmek gerekir. Schönberg'in oniki ses tekniğinden diziselliğe ulaşan Webern ve ardılları algoritmik kompozisyon yapıyorlardı: Bilindiği gibi, dizisel teknikte müzik perde, süre, şiddet, tını gibi parametrelerine ayrılarak her biri ayrı ayrı kontrol edilir. Her bir parametrenin alabileceği değerlerin permütasyonları seçilerek bir dizi oluşturulur. Parametre değerleri de bu diziyeye ya da onun dönüşümleriyle türetilen dizilere göre değiştirilir.

Formel teknikler ve kurala dayalı yöntemler çok daha erken dönemlerde de kullanılmıştır: 15. yüzyılda ritmik desenler 'izoritmik motet'lerde sistematik biçimde kullanılıyordu. Guillaume Dufay kompozisyonlarının yapısını belirlerken altın oranı kullanmış, kompozisyonlarından birinin değişik bölümlerinin temposunu bir katedralin boyutlarından türetmiştir.⁶ Otomatikleştirilmiş kompozisyonun 'rastlantı'ya dayalı yalın bir örneği Mozart'ın 1787'de bestelediği *Musikalisches Würfelspiel* (müziksel zar oyunu)

adlı parçadır. Parça, zar atılarak seçilen bağımsız ölçülerin ardarda sıralanmasından oluşuyordu. Sekiz atış sonunda ilk cümle belirleniyordu.⁷

Modern bestecilerin bilgisayar kullanmadan yaptıkları bazı algoritmik kompozisyonlara örnek olarak John Cage'in "Reunion"ı ve Ron Pellegrino'nun "Metabiosis"i sayılabilir. Reunion, fotoreseptörler ile donatılmış bir satranç tahtası üzerinde satranç oynanarak icra edilmek üzere tasarlanmış bir parçadır. Oyuncuların hamleleri, sesleri tetikler; böylece parça her icra edilğinde farklı olur.⁸ Metabiosis, bir performans odasına yerleştirilmiş mercekler, bir ışık kaynağı, fotodirençlerle kaplı duvarlar ve analog ses sentezleyicileri içermektedir. Hava akımına duyarlı mercekler hareket ettiğinde, üzerlerine verilen ışık odanın değişik yerlerine düşmekte, böylece fotodirençlerden analog sentezleyicilere kontrol voltajı olarak aktarılan enerji değişimlerine bağlı olarak frekans, genlik ve tını değişimleri tetiklenmektedir. Değişiklikleri sağlayan, her bir dinleyicinin performans alanına girmesi ve çıkması sırasında oluşturduğu hava akımlarıdır.⁹

Yukarıda örnekleri verilen ayrıcalıklı durumlar olmakla birlikte, günümüzdeki uygulamada 'algoritmik kompozisyon' dendiğinde hemen hemen her zaman bilgisayarın yer aldığı bir kompozisyon süreci sözkonusudur.

Aşağıdaki iki altbölümde sırasıyla, bilgisayar destekli kompozisyonun ortaya çıkışından bugüne kadar kullanılan yöntemler ve günümüzde yaygınlaşan yöntemlere değinilmiştir. Ancak, geçmişte uygulanan yöntemlerden bazılarının bugün de yeni teknik olanaklarla uygulandığını ve geliştirilmeye çalışıldığını, yeni yöntemlerden bazılarının da kuramsal gelişiminin çok önceden başladığını eklemek gerekir.

Günümüze Kadar Kullanılan Yöntemler

Lejaren Hiller'in, Leonard Isaacson ve Robert Baker ile birlikte ilk kez bilgisayarla kompozisyon yapan kişi olduğu bilinmektedir. 1957'de Hiller, Illinois Üniversitesi'nde bir Univac bilgisayarıyla bestelediği, "Yaylı dörtlü için Illiac Süiti"ni yayınlamıştır.¹⁰ Bu çalışma, bilgisayarda 'kompozisyon sürecinin kendisini otomatikleştirmeyi' amaçlaması bakımından, bilgisayarın 'insanın yürüttüğü kompozisyon sürecine yardımcı' olarak kullanıldığı (ör. Iannis Xenakis'in ilk çalışmaları) yaklaşımdan ayrılmaktadır.¹¹

Kompozisyon sürecinin kendisini otomatikleştirmeye yönelik deneyler, (1) bestecinin müziği yaratma sürecini doğrudan doğruya, bazıları yapay zeka yöntemlerine giren algoritmalarla gerçekleştirme çalışmaları; (2) amacı bestecinin akıl yürütme sürecini simüle etmek olmayan, müzik kuramı dışından kaynak materyal alan çalışmalar olarak iki grupta incelenebilir.

Birinci gruba giren çalışmaların bir örneği, William Schottstaedt'in otomatik 'tür kontrpuanı' (bire karşı bir, bire karşı iki, vb) programıdır. Schottstaedt, programın yazdığı kontrpuanı Fux'un *Gradus ad Parnassum*'undaki kurallara dayandırmıştı. Program, "lidya modunda kadansın yakınında tritondan kaçınmak" ve "koşut beşlilere izin verilmemesi" gibi yaklaşık 75 kadar kural içeriyordu.¹²

Kemal Ebcioğlu, J.S. Bach biçeminde dört partli koraller oluşturan CHORAL adlı bir program yazmıştı. Program, kararlarını vermek için 350 kurala ek olarak Schenker ana-

lizi ilkelerinin bir özetine de başvuruyordu.¹³

David Cope'un 1991'de gerçekleştirdiği EMI (*Experiments in Musical Intelligence*) projesi, çeşitli bestecilerin müzik biçemlerini ve biçemsel yinelemelerini anlamaya odaklanmıştı. EMI, girdi olarak verilen en az iki yapıttan desen karşılaştırma yöntemiyle elde ettiği 'imza'ları yeni parçalar üretmek için kullanıyordu.¹⁴ 'Örneklerden öğrenen' sistemlerin en yaygın türü olan "yapay nöron ağları"nın ise, daha çok çeşitli caz biçemlerinde doğaçlama yapma amacıyla kullanıldığı çok sayıda araştırma yapılmıştır.

İkinci grupta listelenebilecek çalışmalarda kullanılan başlıca materyal ve yöntemler arasında kaotik sistemler ve fraktallar, hücresel otomatonlar, yaklaşımlı fonksiyonlar, biyolojik yapılar ve süreçler sayılabilir. Yapay nöron ağları, Markov zincirleri ve GAT (*generate-and-test*) gibi yöntemler de her iki grupta yer alabilen yöntemlere örnek olarak verilebilir. Rastlantısallık, kullanılan yöntemin özelliğine göre çeşitli düzeylerde olabilmekte, ya da isteğe bağlı olarak eklenebilmektedir. Bunun yanısıra, çok sayıda uygulama, sesle ilgili olmayan fiziksel/matematiksel sistemlerin, doğadaki fenomenlerin vb verilerini sese ve müziğe dönüştürme anlamını taşıyan "sonifikasyon" (İng. sonification; "seselleştirme" olarak çevrilebilir) örnekleridir. Cage, "*Atlas eclipticalis*" (1961) adlı parçasını gökyüzü haritalarından türetmiş; Charles Dodge, "*Earth's Magnetic Field*" (1970) dünyanın manyetik alanındaki salınımların ölçümlerini bilgisayara aktararak yapmıştır. Sonifikasyonun basit bir örneği, grafiğin sese dönüştürülerek müzik haline getirilmesidir. Genel olarak, grafiğin çizildiği düzlem bir zaman-frekans düzlemi gibi düşünülerek piksellerin dikey konumu sesin frekans değerini, yatay konumu hangi anda bulunduğunu, rengi ise şiddet değerini belirler.

Müziksel yapılar ile benzerlikleri keşfedilen fraktal (=kırık, parçalı; kesirli boyutu olan) yapıların en belirleyici özelliklerinden biri, "kendine benzerlik"tir (*self-similarity*). Bu, bir yapının çok değişik ölçeklerde ve değişik büyüklüklerde yinelenen, kendisine çok benzeyen, bazen de (doğrusal fraktallarda) tümüyle aynı olan kopyalarını içermesi anlamına gelir. Bunun gözlenmesi, bilgisayarla hesaplanarak çizilmesi ile olanaklı hale gelmiştir: Benoit Mandelbrot, ilk kez fraktal sistem formüllerinin bilgisayar grafiklerini elde etmiştir.¹⁵ Kendine benzerlik özelliği gösteren yapılar doğada varolduğu gibi, müzikte de bulunmaktadır. Larry Solomon, "*Cantor tarağı*" ile Beethoven'ın 1 numaralı *Ecosaise*'i ve "*Sierpinski üçgeni*" ile Beethoven'ın Op.28 piyano sonatının 3. bölümü arasındaki yapısal benzerlikleri örnek olarak vermektedir.¹⁶ *Cantus firmus*'un ritmik arttırma/azaltma ile dönüştürülmüş kopyalarını kullanarak çeşitli ölçeklerde kendine benzerliğin çarpıcı örneklerini veren J.S. Bach'ın döneminden önce de, kısa bir ezgisel motiften, bir yapının herbir bölümünün tonalitelerini türetme gibi uygulamalar bulunmaktaydı.¹⁷

Kendine benzerlik özelliğinin görüldüğü fraktal yapıların müziksel bakımdan özel bir örneği, "pembe gürültü" olarak da bilinen "1/f gürültüsü"dür. 1/f gürültüsü, herbir oktav başına eşit spektral güç içeren gürültü tipidir. 1978'de Richard F. Voss ve John R. Clarke birçok müzik parçasının ses verilerinin spektral yoğunluğunu inceleyerek müziğin 1/f gürültüsüne benzer bir yapı gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Bu ilişkilerin farkedilmesiyle, fraktal sistem formüllerini kompozisyon amacıyla kullan-

ma düşüncesi doğmuştur. Voss ve Clarke, elde ettikleri bulgulardan yola çıkarak bir 1/f gürültü üreticini perde seçici birim olarak kullandıkları kompozisyonlar yapmışlardır.¹⁸ Fraktal sistem formüllerinin kompozisyona uygulanış yöntemleri genellikle çıktı değerlerinin müziksel parametre değerleriyle, hesaplanma sırasına göre eşleştirilmesini temel almaktadır. Robert Greenhouse'un "The Well-Tempered Fractal" adlı programı bunun ilk örneklerindedir.

Markov zincirleri, gelecekteki bir olayın olasılığının geçmişteki bir ya da daha çok olayın gerçekleşme durumuyla belirlendiği olasılık sistemleri, ya da çıktılarının daha önceki belli sayıda çıktıya bağlı olduğu kesintili (ayrık) sistemler²⁰ olarak tanımlanabilir. Sonraki durumun belirlenmesi için geçmişe doğru kaç durumun gözönüne alındığı, Markov zincirinin derecesini belirler. (N. dereceden bir Markov zinciri, N+1 boyutlu bir olasılık tablosuna karşılık gelen bir geçiş matrisiyle gösterilebilir.) Durumlar, ezgi üretmek için perdeleri, ya da ritmik desenler üretmek için süreleri simgeleyebilir. İkinci ve daha üst dereceden Markov zinciri çıktılarının müziksel açıdan ilginç olduğu saptanmıştır.

GAT (*generate-and-test*) yöntemi, önce bir parametre için rastgele bir değer üretmeye ve ona birçok test uygulamaya dayanır. Eğer bu değer bütün testleri geçerse çıktı olarak seçilir, geçemezse yeni bir değer üretilir ve işlem böylece sürer. Bu yöntemi Hiller da kullanmıştır.²¹

Yaklaşımli fonksiyon sistemleri, matematiksel denklemlerin verdiği sonuçları yine bu denklemlerin girdileri olacak biçimde geri besleyerek hesaplama sürecinin uygulandığı dinamik denklem sistemleridir. Bu tür sistemlerin davranışının kompozisyon algoritmalarında kullanılabilirliği birçok bestecinin ilgisini çekmiştir.²²

Biyolojiden esinlenen bir yöntem de "genetik müzik" bestelemeye kullanılmaktadır. DNA'nın (*deoxyribonucleic acid*) dört tip baz molekülünün (adenin, timin, sitozin, guanin) ve oluşturdukları aminoasitlerin, proteinlerin özellikleri ve müziksel yapılarla ilişkileri araştırılarak bestelenen müziğe genetik müzik ya da DNA müziği denmektedir. Genetik ve müziksel yapılar arasında, her ikisinin de 1/f güç spektrumu sergilemesi, DNA kodlarından yapılan müziğin kulağa doğal gelmesi gibi ilginç benzerlikler bulunmaktadır. Douglas Hofstadter, genetik ve müziksel yapıları birbirine şöyle benzetmiştir: "mRNA'yı (*messenger ribonucleic acid*) uzun bir manyetik kayıt bandı gibi, ribozomu ise bir kasetçalar gibi düşünün.[...] Bir mRNA 'bandı' bir ribozomun 'çalıcı kafasından' geçerken seslendirilen notalar 'aminoasitler' ve oluşturdukları müzik parçaları 'proteinler'dir."²³ Hofstadter, "her ikisinin de gerçek anlamları bileşimlerinde yatan doğrusal ardışık öğelerden oluşması" nedeniyle proteinlerin karmaşık örgülerini ve onları kodlayan DNA'ları müzikle anlatmanın doğal bir yol olduğunu belirtmiştir.²⁴

DNA kodlarından müziğin sentezlenmesinde kullanılan bir yöntem, baz molekülünün üçerli gruplar halinde birleşerek oluşturdukları 64 'kodon'u fiziksel özelliklerine göre değişik müzik parametreleriyle eşleştirmektir.²⁵ John Dunn ve Mary A. Clark, aminoasitlerin moleküler ağırlık, hacim ve yereldikleri biyokimyasal kategori gibi özelliklerini perde ve diğer parametreleri seçme amacıyla kullanmışlardır.²⁶ Besteci Susan Alexjander ve biyolog David Deamer ise baz moleküllerinin moleküler titreşimlerinin hızlarını

kızılötesi spektrofotometre kullanarak ölçmüşler, buldukları frekansları aralarda oktav aktarımlarıyla işitilebilir frekans bölgesine aktararak, kromaları değiştirmeden, mikrotonal bir sistem içerisinde kullanmışlardır.²⁷

Dunn, deneysel müziğin geniş dinleyici kitlesi tarafından kolay alı şıl amamasının nedeni olarak gördüğü, tarih boyunca evrimleşmiş bir müzik kültürü üzerine oturmadaki eksikliğini, insanın kendi yapısını oluşturan DNA kodlarıyla anlamlı bir yapı kazandırarak gidermeyi hedeflemektedir. Dunn ve Clark, sanatsal düzeyi yüksek bir müzik yapmanın yanısıra “doğanın derin yapısındaki estetik örüntünün ampirik bir kanıtını da sunmayı amaçladıklarını” belirtmektedirler.²⁸

2001’de Bob L. Sturm, parçacık (*quantum*) fiziğinde parçacıkların dalga gibi davranabilme özelliğinin yanısıra, hem parçacık mekaniğinde hem de zaman-frekans analizinde Fourier dönüşümlerinin kullanılması, dolayısıyla Heisenberg’in belirsizlik ilkesinin sözkonusu olması gibi ortak yönlerden esinlenerek dinamik parçacık sistemi simülasyonlarından ses sentezi ve algoritmik kompozisyon yapılabileceğini göstermiştir.²⁹

Günümüzde Yaygınlaşan Yöntemler

Günümüzde, önceki altbölümde değ inilen yöntemlere oranla daha çok ağırlık verilmeye başlanan yöntemler olan “hücre sel otomatonlar” ve “genetik algoritmalar”, “yapay yaşam” adlı kategoride yer almaktadır.

Yapay yaşam, organik olmayan organizmalar ve doğadaki yapının ötesinde yaşam benzeri davranışlar üzerindeki çalışmalara verilen addır.³⁰ Biyologların doğanın davranışını inceleyen biyolojik davranış araştırmaları ile bilgisayar bilimcilerin yeni ve daha iyi programlama yöntemi arayışlarının gittikçe kesişmesi ile gündeme gelen bu çalışmalar, bugün çok çeşitli bilimsel ve sanatsal disiplinlerin çalışma alanına da girmiş durumdadır.

“Evrimsel sanat” kavramı, yapay yaşam ve özellikle genetik algoritmalar ile birlikte ortaya çıkmıştır. Bilgisayar yardımıyla üretilen bir sanat formu olan evrimsel sanatta temel düşünce, sanatçının bir yapıtın gelişimini ‘doğal ayıklanma’ sürecine benzer bir dizi ‘seçme’ işleminden geçirerek kontrol edebilmesidir. Ebeveyn modele mutasyon, melezleme gibi işlemlerin aralarda uygulandığı evrimsel bir süreçle geliştirilen model sözgelimi resim, bir heykelin üç boyutlu modeli ya da müziksel bir yapı (ör. müziğin planı, motifleri, vb) olabilir.

Hücre sel otomatonlar ve genetik algoritmalara değ inmeden önce, yapay yaşamın “*emergence* (=ortaya çıkma; başgösterme)” denen önemli bir özelliğini tanımlamak gerekiyor. Stewart Dean, *emergence*’i “birşey, onu oluşturan kısımların toplamından fazla birşey olduğunda elde edilen/ortaya çıkan şey/özellik” olarak açıklıyor ve şu örnekleri veriyor: “Bu gezegendeki, bildiğimiz en uç *emergence* örneği yaşamdır. Biz parçalarımızın toplamından daha fazlasıyız. Bir insanın yansı, diğ er yarısı olmadan işlemez ama bütün olarak çok karmaşık davranış becerisine sahibiz.”³² “İnsanın düşünme süreci beyni oluşturan tüm hücrelere dayanır. Tek bir hücre için düşünme eylemi tanımlı

değildir; yapısında barındırdığı 'kurallara' bağlı işlevler gösterir. Ancak diğerleriyle birleşimi sonucu, karmaşık sonuçlar üretmede kendi rolünü yerine getirir. Bu aynı zamanda hücrel otomatonların da dayandığı kuramdır."³³ E.R. Miranda da *emergence* konusunu şöyle tanımlıyor: "Grubun birçok ögesinin etkileşimi sonucunda ortaya çıkan grup davranışı. Birey konumundaki bu ögelerin davranışları, etkileşimleriyle ortaya çıkan davranıştan çok daha basittir."³⁴ Miranda, yine konuyla ilgili bir kavram olan "adaptif oyunlar"a da şöyle değinmektedir: "Bu terim, zamanla evrimleşen ve adapte olan sistemlerle ilişkilidir. Psikoloji, bilgisayar bilimleri, ekonomi, biyoloji, nöroloji gibi alanlar, adaptif sistemleri yöneten mekanizmalar hakkında daha derin bir anlayışın kazanılmasına dayanır. Bu sistemlerin ortak bir özelliği, birçok basit kısmın etkileşiminden ortaya çıkan (*emerge*) organize davranıştır."³⁵

Yapay yaşamda 'ortam' bilgisayarın içinde tasarlanır. Doğadaki, atomların yararlı bileşimler oluşturması için bekleme sürecinin yerini, birtakım canlılar ya da hücreler ile izleyecekleri bir dizi kuralın yaratılması alır. Eğer bu canlıların üreme, mutasyona uğrama gibi özellikleri varsa ve yeterince karmaşık iseler evrimleşeceklerdir. Sonuçta ya popülasyon yok olur ya da ortamda yaşamın sürebileceği bir çözüme ulaşılır.³⁶ Ortamda ya da ekosistemde gerçekleşen evrimsel süreç bir matematiksel problemin çözümünü simgeleyebileceği gibi, bir müzik parçasının bestelenme sürecini de simgeleyebilir.

Otomaton, davranışı (çıktısı) güncel girdilerin doğrudan değil, bir ölçüde girdilerin geçmişine de bağlı bir sonucu olan tüm makinalara verilen addır.³⁷ Hücrel otomatonlar, davranışları konumsal bir ilişki bakımından tümüyle tanımlanmış kesintili sistemlerdir. Bir hücrel otomaton, stilize bir evren olarak düşünülebilir. Uzay, tekbiçimli bir [n boyutlu] ızgarayla (kafes yapısıyla) gösterilir. Gözlerdeki her bir hücre, belli büyüklükte bir veri içerir. Zaman kesintili adımlarla ilerler ve evrenin yasaları bir çizelgeyle gösterilir: her zaman adımında hücre yeni durumunu komşularının durumundan hesaplar.³⁸

Hücrel otomatonlar, kuramsal olarak 1940'ların sonunda John von Neumann ve Stanislaw Ulam tarafından tanıtılmıştır. Uygulama açısından bir kilometre taşı ise 1960'ların sonunda John H. Conway'ın "Yaşam Oyunu"nu geliştirmesidir.

Hücrel otomatonların genel özellikleri şöyle özetlenebilir: Zaman ve uzayda gelişir; kesintili bir simülasyon yöntemidir; zaman ve uzay kesintili adımlarla tanımlanır; hücrelerin durumları da kesintilidir; hücreler tek boyutlu otomatonlar için bir doğru boyunca, daha büyük boyutlular için o boyutta bir kafes yapısında dizilirler; her bir hücrenin sergileyebileceği durumlar sonlu sayıdadır; tüm hücreler özdeşdir; bir hücrenin gelecek durumu yalnızca kendisinin ve komşu hücrelerin şimdiki durumuna bağlıdır; her bir hücrenin gelişimi kurallarla belirlenmiştir.³⁹

Christopher Langton, bir hücrenin bir sonraki zaman adımında canlı olma olasılığı ile otomatonun davranışı arasında bir ilişki bulmuştur. (Bu olasılığın değeri, sistemde değiş-tokuş edilen bilgi miktarının bir ölçüsü olarak da yorumlanabilir.) Olasılık 0.3'ün altında ise sistem çok basit davranacaktır; yaratıcı olamayacak kadar fazla düzen içermektedir. Sıfıra çok yakın ise tüm hücreler kısa süre içinde ölür. Biraz daha yukandaki değerler için sistem periyodik desenler oluşturabilir. 0.3 ile 0.5 arasındaysa, sonuç herhangi bir

yapının bulunamayacağı kadar fazla kaotiktir. Ancak 0.3'e çok yakın kritik bir değer aralığında, 'gerçek yaşam'a benzer özellikler gösteren bir sistem davranışı ortaya çıkabilmektedir. Langton bu noktayı "kaosun kenarı" olarak adlandırmıştır.⁴⁰

Kompozisyonda kullanılmış bazı ünlü hücresel otomaton tipleri şunlardır:

Yaşam Oyunu: Canlı bir hücre, eğer iki ya da üç canlı komşusu varsa canlı kalır, diğer koşullarda ölür. Ölü bir hücre, eğer tam üç canlı komşusu varsa canlanır. *Cennetin Bahçesi*, 226 canlı hücre içeren özel bir *Yaşam Oyunu* desenidir. Özelliği, bir sonraki adımda bu dağılımı oluşturacak hiçbir dağılımın olmamasıdır.⁴¹

Demon Dönüşlü Uzay: Her bir hücre, durum sırasayısı bakımından kendisinin şimdiki durumundan bir önceki durumda bulunan komşu hücreleri, bir sonraki zaman adımında kendi durumuna getirir.⁴²

Miranda, CAMUS adını verdiği kompozisyon programında bu iki otomatonu birarada kullanmıştır: *Yaşam Oyunu* otomatonu üç sesli akorları oluşturur, *Demon Dönüşlü Uzay* otomatonu ise 'orkestrasyonu' belirler. Herbir zaman adımında program kafesinden başlayıp sütunlar halinde yukarıdan aşağı tarayarak *Yaşam Oyunu*'nda karşılaştığı her canlı hücrenin yatay ve dikey koordinatlarından akorun üç sesi arasındaki müziksel aralıkları, *Demon Dönüşlü Uzay*'nın aynı koordinatlarında yeralan hücrenin durum sırasayısından ise kullanılacak MIDI enstrümanını saptar.

Miranda'nın Chaosynth'i⁴³ ve Vaidhyanathan'ın (et al.) *ca*'sı⁴⁴ da hücresel otomatonlarla granüler ses sentezinin birarada kullanıldığı sistemlerdir.

DNA kodlarının sonifikasyonu ile ilgili olan "genetik müzik"ten farklı anlamda olan "genetik algoritma müziği", evrimsel süreçlerle kompozisyon yapılmasını anlatan bir adlandırmadır. Genetik algoritmaların temel ilkelerini ilk kez John H. Holland, 1975'te yayınladığı "*Adaptation in Natural and Artificial Systems*" adlı kitabında ortaya koymuştur.

Genetik algoritmalar, arama ve optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan adaptif yöntemlerdir. Biyolojik organizmaların genetik süreçlerine dayanırlar. Doğal popülasyonlar birçok kuşak boyunca doğal ayıklanma ve en uygun olanın yaşamını sürdürmesi ilkeleriyle evrimleşirler. Bu süreci taklit eden genetik algoritmalar, eğer uygun bir şekilde kodlanırlarsa, gerçek dünyadaki problemlere çözümler 'evrimleştirebilirler'.⁴⁵

Genetik algoritmaların hem etkili arama yöntemleri olarak, hem de yaratıcılıkla ilgili konularda gerekli olan 'çok sayıda çözüm bulma' kapasiteleriyle, müziksel uygulamalarda kullanılmak için iyi bir aday olduğu belirtilmiştir.⁴⁶

Genetik algoritmaları kompozisyona uygulamak için gerekli ortam şöyle kurulur: Önce popülasyonun simgelediği müziksel nesnelerin olası kombinasyonları, anlamlı olanlarla sınırlanır. Yoksa ezgisel, ritmik ya da armonik olasılıkların oluşturduğu "arama uzayı" başedilemez bir hale gelir. Algoritmanın başıyla sürdürülmesiyle kompozisyonun evrimleşmesi için olası yolları tanımlayan bir dizi kural belirlenir. Kurallara ne kadar uyulabildiğini ölçen bir uygunluk (*fitness*) fonksiyonu, bir bireyin sonraki kuşakta hayatta kalıp kalamayacağına karar verir. Önceden belirlenmiş bir sonlanma koşulu

sağlandığında işlem sona erer.⁴⁷

Seçimleri uygunluk fonksiyonu yerine insanın yaptığı genetik algoritmalara “etkileşimli genetik algoritma” adı verilmektedir. Ancak bu yöntemin, bestecinin tüm potansiyel çözümleri dinleme zorunluluğu nedeniyle pratik olmadığı bildirilmiştir.

Horner ve Goldberg genetik algoritmaları çok basit ezgiler arasında tematik köprüler üretmek, McIntyre verilen bir ezginin 4 partlı Barok biçimde armonizasyonu için kullanmıştır.⁴⁸

Lee Spector ve Jon Klein’in tasarladığı “BREVE”, uçabilen üç farklı canlı türünün sürüler halinde dolaştığı üç boyutlu bir dünya simülasyonudur. Herbir canlının genotipi belli bir hareket formülü içermektedir. Canlıların hareketi, kendi türünün oluşturduğu sürülerde yeralma, enerji kaynaklarına yönelme, yere çok yaklaştıklarında inerek bir süre dinlenme gibi eğilimlerin bileşimlerinden oluşmaktadır. Genler sonraki kuşağa aktarılırken mutasyon oluşabilmektedir. Yeni genotip, kendi türünün o anda varolan ‘en iyi’ (uygunluk ölçüsüne en çok uyan) bireyinden alınır. Burada en iyi birey, yaşı ile enerjisinin çarpımı en yüksek olan birey olarak tanımlanmıştır. Zamanın akışı, başka bir canlıyla çarpışma, başka bir türün bireylerinin sayıca daha çok olduğu bir bölgede bulunma, doğum yapma gibi olaylar enerji yitirmelerine yolaçar. BREVE, müziğe şöyle uygulanmaktadır: Üç canlı türüne üç ayrı tını (perdeli bir enstrüman sesi, kuş şakıması, gürültü sesi) verilmiştir. Çeşitli olaylar ses sentezini tetikler; örneğin beslenme, yere inme, vb. Yaratıcıları, BREVE’in müziksel sonuçlarını ‘ karmaşık ve sürükleyici’ olarak nitelendirmişlerdir.⁴⁹

Rodney Berry, oluşturduğu “*Feeping Creatures*” adlı etkileşimli sanal ortamı şöyle anlatmaktadır: “Yapay organizmaların oluşturduğu bir popülasyon içeriyor. Bu canlıların evrimleşmeleri ve etkileşimlerinden sürekli olarak müzik ve video üretiliyor. [...] Bu tür bir çalışma, sanatçıya estetik deneyimin yaratıcısı olma rolünden bir adım dışarı çıkarak daha çok işleyicisi ya da avcı-toplayıcısı olma şansı sunuyor. [...] Herbir canlının kromozomunda bir dizi müziksel perde bulunur. Canlılar eşlerini müziksel aralıkları karşılaştırarak seçerler, daha sonra herbir ebeveynin perde listesi yavrusuna geçerek yeni bir kromozom ya da ezgi oluşturur. Ritim, beslenme zinciriyle geçer. Sonuç, sürekli, katmanlı bir müziksel hücreler ağı, evrimleşen bir ‘sessel doğaötesi’dir.”⁵⁰

“Sanatsal anlatımın temel bir hedefi, akılda bir anda tasarlanamayacak anlamlı yapılar yaratmak, yıpranmış formülleri ve sıkıcı tarzları yinelemekten kaçınmaktır” diyen Palle Dahlstedt ve Mats G. Nordahl, “*Living Melodies*” adlı kompozisyon programlarını şöyle tanıtmaktadırlar: “*Living Melodies* dünyası, kare biçiminde bir kafes yapısındadır. Gözlerde bulunan canlılar herbir zaman adımında sekiz farklı yöne doğru bir adım gidebilirler. Ekosistemdeki toplam enerji sabit tutulur, dolayısıyla canlıların zamanın akışı, eşleşme, şarkı söyleme, vb ile tükettikleri tüm enerji buldukları bölgenin bir yerine yine yiyecek olarak fırlatılır. Buradaki canlıların genomları iki bölümden oluşmaktadır: bir ses genomu ve bir prosedür genomu. Hem ses üretirken hem de dinlerken kullanılan ses genomu, canlının ‘favori’ perdelerinin bir listesini içerir. Canlının dinlemeyi en çok sevdiği ilk perde, aynı zamanda canlının türünü belirleyen perdedir. Perde listesi boyunca, belli bir fonksiyona göre beğeni azalır. Hareket ve ses üretimini ayarlayan prosedür

genomu ise 'yürü, dön, dinlen, şarkı söyle' gibi komutlar içerir. İki genomun da evrim sürecinde uzunluklarının değişmesine izin verilmiştir.

Popülasyonun eylemleri müziğe şöyle dönüştürülür: Canlılar genlerindeki nota numarasını seslendirir. Bu nota numarası, mutlak bir perde olarak ya da bir aralık olarak kullanılabilir. Aralık olarak kullanılışı iki yolla olabilir: herhangi bir canlının en son seslendirdiği perdeye göre, ya da kendi türündeki bir canlının en son seslendirdiği perdeye göre hesaplanarak.

Tasarladığımız dünyadaki canlılar eş bulmak için ses çıkarmak zorundadır. Eşleşme çağrıları iletişimin en eski biçimi olabilir ve tüm müziksel anlatımın çıkış noktası olabilir. Eşleşme sinyallerinin evrimi, sabit ama görebilen dişilerin çağrılarının göremeyen erkekleri buldukları yere yönlendirebilmek için evrimleştiği Werner ve Dyer'in çalışması gibi erken yapay yaşam deneylerinde de gündeme gelmiştir.

Kuş sesi biçimindeki eşleşme çağrıları, Clement Janequin gibi rönesans bestecilerinden Beethoven'a ve Olivier Messiaen'a kadar çok sayıda besteci tarafından kullanılmıştır. Burada çağrılarının yalnızca bazılarını değil, tüm ekosistemde oluşan sesi kullanıyoruz. Bunu Messiaen'in *Oiseaux Exotiques*'indeki Baltimore, California, Çin ve Malezya'da yaşayan kuşların ekolojik bakımdan gerçekleşme olasılığı pek olmayan eşzamanlı varoluşlarıyla karşılaştırabiliriz."⁵¹

Sonuç

Bu makalede, bilgisayar destekli kompozisyon çalışmalarının başlangıcından bugüne dek kullanılan yöntemlere değinildikten sonra, bu alandaki yeni yönelimler daha geniş bir biçimde ele alınmıştır.

'DeneySEL' kompozisyon üzerinde çalışan besteci ve araştırmacıların, yaratıcılık gibi önemli öğelerin ağırlığını arttırıcı yöntemlere yönelmeleri, bu alanda ortaya konan ürünlerin sanatsal yönünün gittikçe daha çok önemsendiğinin de bir göstergesidir. Bunun yanı sıra, kompozisyon amaçlı bilgisayar programları, bu programlar yardımıyla yapılan kompozisyonlarda besteci, programcı, kullanıcı ve bilgisayarın rollerini zaman zaman gündeme getirmiştir. Sözgelimi, program uygulama sırasında sonucu çok değiştirebilecek sayı ve nitelikte parametrelerin ayarlanmasına izin verecek şekilde tasarlanmışsa, kullanıcının da besteci işlevinde olduğu söylenebilir. Bu uygulamaların, kompozisyon kavramı ve düşüncesine daha çokyönlü bir bakış kazandırdığı da bir gerçektir. Ancak tüm bu tartışmaların ötesinde dikkate alınması gereken nokta, sanatsal ve bilimsel disiplinler arasında konuyla ilgili olarak gittikçe yoğunlaşan ve önemli sonuçlar veren bir işbirliğinin oluşmasıdır. Bilimsel yöntem ve araştırmaların sanatsal gelişme ve yeniliklerin oluşmasına katkıda bulunması, yaşadığımız çağın gereğiyle örtüşen bir yaklaşım olarak yaygınlaşmayı sürdürmelidir.

KAYNAKÇA

- ALEXJANDER, S., "Microcosmic Music-A New Level of Intensity", <http://www.healingmusic.org/SusanA/microcosmusic.html>.
- ALPERN, A., "Techniques for Algorithmic Composition of Music", <http://hamp.hampshire.edu/~adaF92/algocomp/algocomp9S.html>, 1995.
- BERRY, R., "Feeeping Creatures". http://www.cofa.unsw.edu.au/research/rodney/FC_table.html.
- BUSETTI, F., "Genetic Algorithms Overview", <http://www.geocities.com/francobusetti/gaweb.pdf>, 2000.
- CLARK, M.A., "Genetic Music: An Annotated Source List", <http://www.whozoo.org/mac/Music/Sources.htm>.
- COPE, D., Panel Discussion, **Proceedings of the International Computer Music Conference**, 1993.
- DAHLSTEDT, P., NORDAHL, M.G., "Living Melodies: Coevolution of Sonic Communication", http://www.design.chalmers.se/projects/art_and_interactivity/living-melodies/LMpaper.html.
- DEAN, S., "Artificial Life -an Introduction", <http://www.webslave.dircon.co.uk/alife/intro.html>.
- DEAN, S., "Emergence -more than the sum of parts". <http://www.webslave.dircon.co.uk/alife/emergence.html>.
- DUNN, J., CLARK, M.A., "Life Muslc: The Sonification of Proteins", <http://mitpress2.mit.edu/e-journals/Leonardo/Isast/articles/lifemusic.html>.
- EBCIOĞLU, K., "An Expert System for Harmonizing Four-part Chorales", **Computer Music Journal**, 1988, vol:12, no:3.
- GENA, P., STROM, C., "Musical Synthesis of DNA Sequences", **Proceedings of the Sixth International Symposium on Electronic Arts: Emergent Senses**, Montreal, 1995.
- HOFSTADTER, D., **Gödel, Escher, Bach**, Vintage Books Edition, 1980.
- HOROWITZ, E., **Fundamentals of Data Structures**, Computer Science Press, Inc., Maryland, 1982, <http://music.dartmouth.edu/~wovem/electronmedia/music/eamhistory.html>.
<http://music.dartmouth.edu/~wovem/hardware/algorithmdefinition.html>.
<http://www.brunel.ac.uk/depts/AI/alife/al-autom.htm>.
<http://www.brunel.ac.uk/depts/AI/alife/al-ca.htm>.
- JACOB, B.L., "Algorithmic Composition as a Model of Creativity", <http://www.ee.umd.edu/~blj/papers/OganizedSound.pdf>.
- JARVELAINEN, H., "Algorithmic Musical Composition", <http://www.tml.hut.fi/Studies/Tik-111.080/2000/papers/hanna/alco.pdf>, 2000.
- KEITH, M., "The Music of Life". <http://users.aol.com/s6sj7gt/lifemus.htm>, 1998.
- MIRANDA, E.R., "CAMUS: A Cellular Automata MUSIC Generator", <http://website.lineone.net/~edandalex/camus.htm>, 2001.
- MIRANDA, E.R., "Chaosynth: A Cellular Automata-based Granular Synthesiser", <http://website.lineone.net/~edandalex/chaosynth.htm>, 2001.
- MIRANDA, E.R., "On the Music of Emergent Behavior: What Can Evolutionary Computation Bring to the Musician?", *Leonardo*, 2003, vol:36, no:1.
- MOORE, F.R., "Dreams of Computer Music-Then and Now", **Computer Music Journal**, 1996, vol:20, no:1.
- PAPADOPOULOS, G., WIGGINS, G., "AI Methods for Algorithmic Composition: A Survey, a Critical View and Future Prospects", <http://www.soi.city.ac.uk/~geraint/papers/AISB99b.pdf>, 1999.
- PAULUS, E., "The Use of Generative Music Systems for Interactive Media", http://www.eude.org/generative_music_software/paper-GMSIM.pdf.
- ROWBOTTOM, A., "What is Evolutionary Art?", <http://snaffle.users.netlink.co.uk/form/evolutio.html>, 1998.
- SCHATTEN, A., "Cellular Automata: Digital Worlds", http://www.ifs.tuwien.ac.at/~aschatt/info/ca/ca_print.html.
- SOLOMON, L., "The Fractal Nature of Music", <http://cc.pima.edu/users/larry/fracmus.htm>, 1998.
- SPECTOR, L., KLEIN, J.; "Complex Adaptive Music Systems In the BREVE Simulation Environment", <http://hampshire.edu/lspector/alife8-music.pdf>.
- STURM, B.L.; "Synthesis and Algorithmic Composition Techniques Derived From Particle Physics", <http://www.composerscientist.com/content/research/CATpaper.pdf>, 2001.
- TUCEK, J., "What are fractals?", <http://www.jrcademy.com/~jtucek/math/fractals.html>, 2001.

VAIDHYANATHAN, S., MINAI, A., HELMUTH. M., "ca: A System for Granular Processing of sound using Cellular Automata". <http://www.tele.ntnu.no/~akustikk/meetings/DAFx99/vaidhyathan.pdf>.

DİPNOTLAR

* Yrd.Doç.Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Devlet Konservatuvan.

1. F.R. Moore, "Dreams of Computer Music-Then and Now", **Computer Music Journal**, 1996, vol:20, no:1, s.25.
2. Bkz. E. Horowitz, **Fundamentals of Data Structures**, Computer Science Press, Inc., Maryland, 1982, s.2.
3. B.L. Jacob, "Algorithmic Composition as a Model of Creativity", <http://www.ee.umd.edu/~blj/papers/OrganizedSound.pdf>, s.1.
- * Tanımdaki parantezli kısımlann hepsi orijinal İngilizce metinde de yer almaktadır.
4. D. Cope, Panel Discussion, **Proceedings of the International Computer Music Conference**, 1993.
5. A. Alpern, "Techniques for Algorithmic Composition of Music", <http://hamp.hampshire.edu/~adaF92/algocomp/algocomp95.html>, 1995.
6. Bkz. H. Jarvelainen, "Algorithmic Musical Composition", <http://www.tml.hut.fi/Studies/Tik-111.080/2000/papers/hanna/alco.pdf>, 2000, s.1.
7. Bkz. <http://music.dartmouth.edu/~wovem/electronmedia/music/eamhistory.html>.
8. Bkz. A. Alpern, "Techniques for Algorithmic Composition of Music", <http://hamp.hampshire.edu/~adaF92/algocomp/algocomp95.html>, 1995.
9. Bkz. <http://music.dartmouth.edu/~wovem/hardware/algorithmdefinition.html>.
10. Bkz. <http://music.dartmouth.edu/~wovem/electronmedia/music/eamhistory.html>.
11. Bkz. A. Alpern, "Techniques for Algorithmic Composition of Music", <http://hamp.hampshire.edu/~adaF92/algocomp/algocomp95.html>, 1995.
12. Bkz. <http://music.dartmouth.edu/~wovem/hardware/algorithmdefinition.html>
13. Bkz. K. Ebcioğlu, "An Expert System for Harmonizing Four-part Chorales", **Computer Music Journal**, 1988, vol:12, no:3, ss. 43-51.
14. Bkz. G. Papadopoulos, G. Wiggins, "AI Methods for Algorithmic Composition: A Survey, a Critical View and Future Prospects", <http://www.soi.city.ac.uk/~geraint/papers/AISB99b.pdf>, 1999, s.2.
15. Bkz. J. Tucek, "What are fractals?", <http://www.jracademy.com/~jtucek/math/fractals.html>, 2001.
16. Bkz. L. Solomon, "The Fractal Nature of Music", <http://cc.pima.edu/users/larry/fracmus.htm>, 1998.
17. Bkz. H. Jarvelainen, "Algorithmic Musical Composition", <http://www.tml.hut.fi/Studies/Tik-111.080/2000/papers/hanna/alco.pdf>, 2000, s.8.
18. Bkz. a.g.k., s.8.
19. Bkz. E. Paulus, "The Use of Generative Music Systems for Interactive Media", http://www.eude.org/generative_music_software/paper-GMSIM.pdf, s.15.
20. Bkz. H. Jarvelainen, "Algorithmic Musical Composition", <http://www.tml.hut.fi/Studies/Tik-111.080/2000/papers/hanna/alco.pdf>, 2000, s.3.
21. Bkz. a.g.k., s.7.
22. Bkz. A. Alpern, "Techniques for Algorithmic Composition of Music", <http://hamp.hampshire.edu/~adaF92/algocomp/algocomp95.html>, 1995.
23. D. Hofstadter, **Gödel, Escher, Bach**, Vintage Books Edition, 1980, s.519.
24. Bkz. M.A. Clark, "Genetic Music: An Annotated Source List", <http://www.whozoo.org/mac/Music/Sources.htm>.
25. Bkz. P. Gena, C. Strom, "Musical Synthesis of DNA Sequences", **Proceedings of the Sixth International Symposium on Electronic Arts: Emergent Senses**, Montreal, 1995, ss. 83-85.
26. Bkz. J. Dunn, M.A. Clark, "Life Music: The Sonification of Proteins", <http://mitpress2.mit.edu/e-journals/Leonardo/isast/articles/lifemusic.html>.
27. Bkz. S. Alexjander, "Microcosmic Music-A New Level of Intensity", <http://www.healingmusic.org/SusanA/microcosmusic.html>.
28. Bkz. J. Dunn, M.A. Clark, "Life Music: The Sonification of Proteins", <http://mitpress2.mit.edu/e-journals/Leonardo/isast/articles/lifemusic.html>.
29. Bkz. B.L. Sturm, "Synthesis and Algorithmic Composition Techniques Derived From Particle Physics",

- <http://www.composerscientist.com/content/research/CATpaper.pdf>, 2001.
30. Bkz. S. Dean, "Artificial Life -an Introduction", <http://www.webslave.dircon.co.uk/alife/intro.html>.
31. Bkz. A. Rowbottom, "What is Evolutionary Art?", <http://snaffle.users.netlink.co.uk/form/evolutio.html>, 1998.
32. S. Dean, "Artificial Life -an Introduction", <http://www.webslave.dircon.co.uk/alife/intro.html>.
33. S. Dean, "Emergence -more than the sum of parts", <http://www.webslave.dircon.co.uk/alife/emergence.html>.
34. E.R. Miranda, "On the Music of Emergent Behavior: What Can Evolutionary Computation Bring to the Musician?", **Leonardo**, 2003, vol:36, no:1, s.58.
35. A.g.k., s.58.
36. Bkz. S. Dean, "Artificial Life -an Introduction", <http://www.webslave.dircon.co.uk/alife/intro.html>.
37. Bkz. <http://www.brunel.ac.uk/depts/AI/alife/al-autom.htm>.
38. Bkz. <http://www.brunel.ac.uk/depts/AI/alife/al-ca.htm>.
39. Bkz. A. Schatten, "Cellular Automata: Digital Worlds", http://www.ifs.tuwien.ac.at/~aschatt/info/ca/ca_print.html.
40. Bkz. a.g.k.
41. Bkz. M. Keith, "The Music of Life", <http://users.aol.com/s6sj7gt/lifemus.htm>, 1998.
42. Bkz. E.R. Miranda, "CAMUS: A Cellular Automata MUSIC Generator", <http://website.lineone.net/~edandalex/camus.htm>, 2001.
43. Bkz. E.R. Miranda, "Chaosynth: A Cellular Automata-based Granular Synthesiser", <http://website.lineone.net/~edandalex/chaosynt.htm>, 2001.
44. Bkz. S. Vaidhyanathan, A. Minai, M. Helmuth, "ca: A System for Granular Processing of sound using Cellular Automata", <http://www.tele.ntnu.no/akustikk/meetings/DAFx99/vaidhyanathan.pdf>.
45. Bkz. F. Buseti, "Genetic Algorithms Overview", <http://www.geocities.com/francorbusetti/gaweb.pdf>, 2000, s.1.
46. Bkz. G. Papadopoulos, G. Wiggins, "AI Methods for Algorithmic Composition: A Survey, a Critical View and Future Prospects", <http://www.soi.city.ac.uk/~geraint/papers/AISB99b.pdf>, 1999, s.3.
47. Bkz. H. Jarvelainen, "Algorithmic Musical Composition", <http://www.tml.hut.fi/Studies/Tik-111.080/2000/papers/hanna/alco.pdf>, 2000, s.9.
48. Bkz. G. Papadopoulos, G. Wiggins, "AI Methods for Algorithmic Composition: A Survey, a Critical View and Future Prospects", <http://www.soi.city.ac.uk/~geraint/papers/AISB99b.pdf>, 1999, s.3.
49. Bkz. L. Spector, J. Klein, "Complex Adaptive Music Systems in the BREVE Simulation Environment", <http://hampshire.edu/lspector/allife8-music.pdf>.
50. R. Berry, "Feeeping Creatures", http://www.cofa.unsw.edu.au/research/rodney/FC_table.html.
51. P. Dahlstedt, M.G. Nordahl, "Living Melodies: Coevolution of Sonic Communication", http://www.design.chalmers.se/projects/art_and_interactivity/living-melodies/LMpaper.html.