



Papers Produced from PhD Theses Presented at
Institute of Science and Technology, Yıldız Technical University
Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezlerinden Üretilmiş Yayınlar

Sigma 1
26-36,
2008



Araştırma Makalesi / Research Article ÖNDER DENETİMLİ TAKIM CANLANDIRMA SİSTEMLERİNDE TIKANIKLIK ÇÖZÜM ALGORİTMALARI

Levent CUHACI*¹, B. Tefvik AKGÜN²

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim dalı, Yıldız-İSTANBUL

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İletişim Tasarımı Bölümü, Yıldız-İSTANBUL

Geliş/Received: 01.07.2008 Kabul/Accepted: 08.07.2008

ÖZET

Takım canlandırmalarında karşılaşılan temel sorunlardan biri, takımın hareket etme yetisini kaybedip bir tıkanmaya girebilmesidir. Özellikle bir önder denetiminde hareket eden takımlarda önderin önünün kapanması, ortamdaki engeller ve dar geçitler bir tıkanmaya sebebiyet verebilmektedir. Bu çalışmada önder denetimli takım canlandırmalarında tıkanıklık durumlarının sezilmesi ve buna karşı geliştirilen çeşitli çözüm algoritmaları tanıtılmıştır. Bu algoritmalar, önder değişimi gerektiren ve önder değişimi gerektirmeyen yöntemler olmak üzere iki grup altında incelenmiştir. Önerilen bu yöntemler, engelsiz ve engelli ortamlarda gerçekleştirilen canlandırmalar üzerinde sınanmış ve elde edilen sonuçlar istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Takım canlandırma sistemleri, önderlik, tıkanma, önder değişim algoritmaları.

ACM: I.2.11 H.5.1

CONGESTION SOLUTION ALGORITHMS FOR LEADER-CONTROLLED GROUP ANIMATION SYSTEMS

ABSTRACT

One of the main problems of group animations is the congestion, which is the result of the decrement in group's movement ability. Especially for leader-controlled groups; a blocked leader, obstacles in the environment or narrow passages may cause congestion. In this work, the detection of congestion in group animations and some solution algorithms are presented. These algorithms fall into two groups, which one group requires a change in the leadership and the other group does not. These suggested methods are tested in both clear and obstacle filled environments and the results are statistically analyzed.

Keywords: Group animation systems, leadership, congestion, leader change algorithms.

1. GİRİŞ

Bilgisayarda canlandırma yöntemleri geometrik, fiziksel ve davranışsal yöntemler olmak üzere üç ana grup altında incelenir [1]. Özellikle kalabalık toplulukların canlandırılmasında geometrik ve fiziksel yöntemlerin uygulanma zorluğu, bu alanda yapılan çalışmaları davranışsal canlandırma yöntemleri üzerinde yoğunlaştırmıştır. Davranışsal canlandırma konusundaki öncü çalışmada bir kuş sürüsünün hareketleri modellenmiş ve sürüdeki her bireyin birtakım temel kuralları işletmesi

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: e-mail / e-ileti : l.cuhaci@iku.edu.tr, tel: (212) 498 43 59
İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fak., Matematik Bilgisayar Bölümü, Bakırköy-İSTANBUL

sağlanarak ortaya gerçekçi bir sürü hareketinin çıkması sağlanmıştır [2]. Sürü canlandırması konusundaki izleyen çalışmalarda, hep daha gerçekçi canlandırmalar hedeflenmiştir [3-8].

Sürüdeki bireylerin özerk hareketleri ile ortaya çıkan canlandırma herhangi bir önder denetiminde gerçekleşmez; sürünün genel hareketi bireylerin hareketlerinin bir sonucudur [2]. Öte yandan sürüdeki bir bireyin önder olarak seçilmesi ve diğer bireylerin bu öncü bireyi izlemeleri, ortaya önder denetimli bir takım canlandırması çıkmasını sağlar. Bilgisayarda takım canlandırmalarında önderlik konusu ve önderi izleme davranışı, aynı zamanda davranışsal canlandırma konusundaki öncü makalenin de sahibi olan C. Reynolds tarafından ele alınmıştır [6]. Önderlik konusunda yapılan diğer önemli çalışmalar arasında, sanal insan topluluklarının önder öncülüğünde gerçekleştirilmesi [10], kısıtlı mekanlarda kalabalık insan topluluklarının yönetimi [11] ve panik durumlarında bulunan ortamın önderler denetiminde boşaltılması [12-13] gibi çalışmalar yer almaktadır.

Önderlik konusu, bilgisayar canlandırması dışındaki farklı alanlarda da araştırma konusu olmuş ve incelenmiştir. Örnek olarak robotik alanında yapılan bir çalışma, fiziksel robotlarla sürü davranışının gerçekleşmesi üzerinedir [9]. Bu çalışmada sürü dinamiklerinden yola çıkılarak birbiriyle çarpışmadan bir takım olarak hareket eden ve deneyimlerinden öğrenen robotlar geliştirilmiştir. Aynı çalışmada robotların sürü hareketleri öndersiz ve önderli olarak iki farklı şekilde incelenmiş, ortam engelleri ve fiziksel birtakım zorluklar nedeniyle önderliğin dinamik olması gerektiği, yani zorunlu anlarda sürüde bir önder değişiminin gerekliliği ortaya konulmuştur.

Sunulan bu çalışmada önder denetimli takım canlandırmalarında oluşabilecek tıkanıklıkların sezilmesi ve buna karşı önerilen tıkanıklık çözüm algoritmaları incelenmiştir. Gerçeklenen algoritmalar ve yapılan test canlandırmaları için etmen tabanlı bir davranışsal canlandırma benzetim sistemi çatı olarak seçilmiştir [14].

2. TAKIM CANLANDIRMALARINDA TIKANIKLIK DENETİMİ

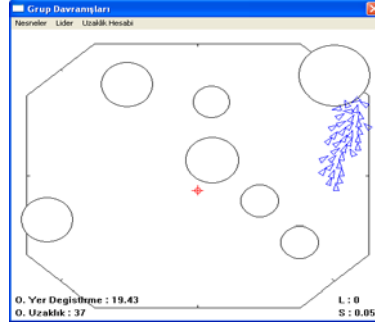
Önder denetimli takım canlandırmalarında sözü edilen önder, takım içinden seçilen ve takımın genel davranışını belirleyen bir bireydir. Önder, takımın genel hedefine ulaşmaya çalışır, diğer takım bireyleri ise önderi izler; böylelikle tüm takımın ortak hedefe yönelmeleri sağlanmış olur.

Takım canlandırmalarında karşılaşılan temel sorun, canlandırma ortamında engellerin bulunması durumunda tıkanıklıkların oluşabilmesidir. Önderi takip eden bireyler, önderin önünün tıkanması durumunda önderi sıkıştırabilmekte ve takım canlandırmasındaki akıcılık kesilebilmektedir. Örnek olarak Şekil 1'de böyle bir durum görülmektedir. Her bireyin yakın çevresinde bulunan diğer bireylerin hareketsiz kalması durumunda sistem ancak uzun zamanda çözülebilen bir tıkanmaya girebilmektedir. Bu tıkanıklığın çözümü ancak bir çeşit zincirleme hareket sonucunda olabilir. Tıkanıklık merkezine uzakta bulunan bir veya daha fazla bireyin rastgele açık bölgeye yönelmeleri sonucu bu bireylere yakın diğer bireyler sırasıyla sürü hareketine uyacak ve bu şekilde tıkanıklık çözülebilecektir.

Canlandırmanın başında bireylerden biri önder olarak seçilir ve diğer bireylere bu önderi izleme davranışı atanırsa, önderin çevresinin kısa bir süre sonra bu bireylerce kapanması da takımın tıkanmaya girmesinin bir başka nedeni olabilir.

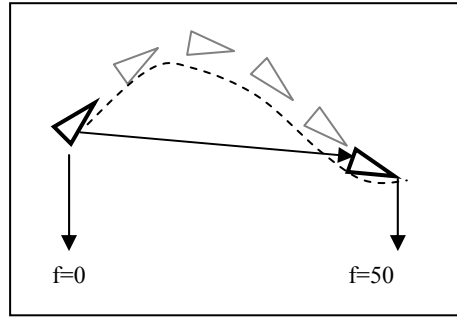
Önder denetimli takım canlandırmasının akıcılığını bozan herhangi bir tıkanmanın oluşması durumunda öncelikle bu tıkanmanın sezilmesi, daha sonra ise bir sonraki bölümde ele alınacak olan akışı sağlayacak çözümlerin devreye girmesi gerekmektedir. Tıkanıklık sınaması belirli aralıklarla yapılmalıdır. Tıkanıklığın oluşması durumunda bireyler hareketsiz kalacak veya çok az hareket edeceklerdir. O halde tıkanıklık oluşumunu sezmek için bireylerin birim zamanda yapmış olduğu yer değişikliklerinin ölçülmesi gerekir. Tıkanıklık durumu, takımın ortalama yer değiştirme değerinde ciddi bir düşüşe neden olur. Dolayısıyla belirli aralıklarla bu değerlerin bir eşik değerinin altında kalıp kalmadığı sınanarak sistemde olası bir tıkanıklığın varlığı sezilebilir. Sınanacak eşik değeri uygun bir değerde seçilmelidir. Bu değer çok yüksek seçilmesi yüksek

hızlarda bile takımın tıkanmaya girmiş gibi görünmesine; çok düşük seçilmesi önceden oluşan bir tıkanıklığın geç farkedilmesine sebep olur.



Şekil 1. Tıkanıklık durumu

Bir takımın ortalama yer değiştirmesi, takımı oluşturan her bir bireyin belirli bir zaman diliminde aldığı yol değerlerinin toplamının birey sayısına bölünmesi ile bulunur. Tek bir birey için bu hesaplama, Şekil 2'de gösterilmektedir. Bir bireyin belirli bir zaman aralığında aldığı toplam yol, ölçülebilen kısa bir zaman aralığında yaptığı yer değiştirmelerin toplamına eşittir. Fakat bu hesabı canlandırmanın her adımında tüm bireyler için yapmak, sistem başarımını olumsuz yönde etkileyecektir. Bu sebeple hesaplama zaman aralığı uygulamada 50 çerçeve olarak alınmıştır. Bu değer çok düşük seçilmesi, sistem başarımında bir düşüşe; çok yüksek seçilmesi ise hesaplanan değerlerin ciddi hata payları içermesine sebebiyet verir. Şekil 2'deki birey gerçekte kesikli çizgi ile gösterilen yolu yapmıştır; fakat uygulamada son konumu ile ilk konumu arasındaki fark göz önüne alınmıştır.



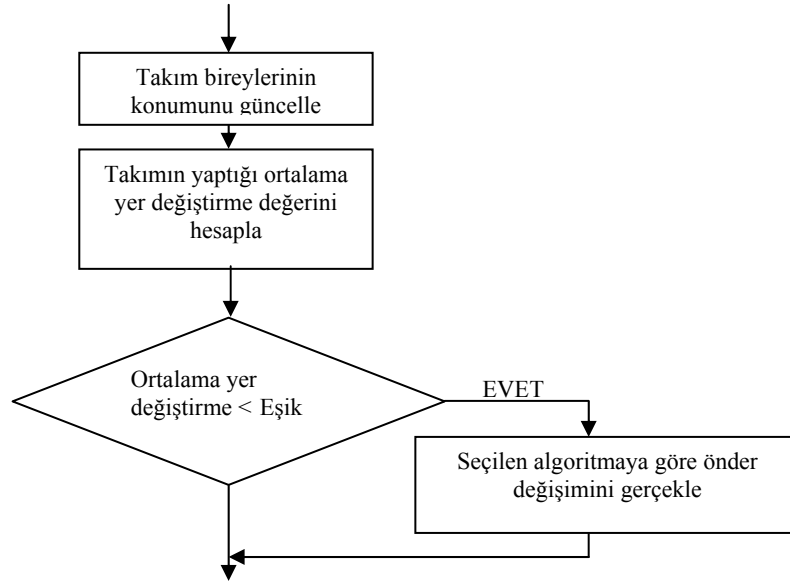
Şekil 2. Bir takım bireyi için alınan ortalama yol hesabı

3. TIKANIKLIK ÇÖZÜM ALGORİTMALARI

Takım canlandırmalarında ortaya çıkan tıkanıklık problemleri sistemde yapılacak önder değişimleri ile çözülebilir. Bir tıkanıklık sezildiğinde önder değişimi olarak iki farklı çözüm yöntemi önerilmektedir:

- Rastgele önder seçimi.
- Var olan öndere en uzaktaki bireyin yeni önder olarak seçilmesi.

Her iki yöntemde de eski önder önderlik statüsünü kaybeder; eski önder dahil takımın diğer bireyleri seçilen yeni önderi izleme davranışını işletmeye başlar. Tıkanıklık sorunlarına önder değişimli çözüme ait akış diyagramı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Tıkanıklık sorunlarına önder değişimli çözüme ait akış diyagramı

Önder değişiminin gerçekleştiği çerçevenin hemen ardından gelen çerçevelerde takımın ortalama yer değiştirme değeri hızlı bir yükseliş göstermez. Zira yeni önder var olan tıkanıklığı çok kısa bir süre içinde çözemeyecektir. Bunun sonucunda her çerçevede ortalama yer değiştirme değeri, eşik değerinin altında görünür ve devamlı yeni bir önder devreye girer. Bunu engellemek için yapılan her önder değişiminin ardından belirli bir süre boyunca önder değişim algoritmalarının çalıştırılmaması sağlanır [9]. Başka bir deyişle; her yeni öndere tıkanıklığı çözebilmek için belirli bir süre şans tanınır. Eğer bu sürenin sonunda da tıkanıklık çözülememişse, yeni bir önder seçimi için önder değişim algoritması tekrar devreye girer.

Önder değiştirmeyen canlandırma uygulamalarında ise tıkanıklığın hiç oluşmamasına yönelik bir çözüm olan “önderin önünün hiçbir zaman kapatılmaması” kuralı, önder dışındaki diğer takım bireyelerine atanır.

3.1. Rastgele Lider Seçim Algoritması

Tıkanıklık sezildiğinde sistem başarımını etkilemeden yapılabilecek en hızlı önder değişimi, yeni önderin rastgele seçilmesidir. Rastgele önder seçimi, uygulamada rastgele bir tamsayı üretmek şeklinde gerçekleşmiştir. Bu tamsayı yazılımda takım bireyelerinin tutulduğu vektördeki yeni bireyin kimliğini belirlemede kullanılır. Yeni bireye önderlik verildikten sonra, bu önder takımın genel davranışını üstlenir. Eski önderi izleme davranışı yeni önderden kaldırılır, ayrıca yeni önderin hız vektörü, dolayısıyla yön bilgisi kendisinin eski yön bilgisinin tersi olacak şekilde düzenlenir. Bunun sebebi yeni önderi tıkanıklığın ters yönüne doğru hareketlendirmektir. Bu işlemlerden sonra takımın geri kalan üyelerine yeni önderi izleme talimatı verilir ve yeni öndere tanınan süre sıfırlanır. Eski önder ise takımın sıradan bir üyesi olarak düzenlenir.

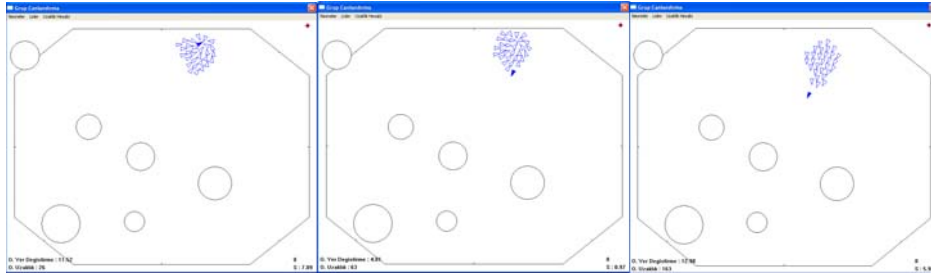
Rastgele önder değişiminin olumlu yanı, fazla işlemci gücü harcamadan hızlı bir şekilde değişimin gerçekleşmesidir. Fakat bu değişimin sonuçları her zaman tıkanıklığın hızlı çözülmesi yönünde olumlu sonuç vermeyebilir. Rastgele yapılan önder değişiminin ardından belirlenen yeni önderin anca tıkanıklığın dışındaki bir birey olması durumunda tıkanıklık çözülebilecektir.

3.2. Uzak Bireyin Önder Olarak Seçilme Algoritması

Önder denetimli takım hareketlerinde oluşabilecek tıkanıklık durumları için yeni önderin tıkanmış olan öndere en uzak mesafede bulunan bireylerden biri olacak şekilde seçilmesi bir diğer çözüm yöntemidir. Böylece seçilen yeni önderin yönü eski yönüne ters yönde değiştirilerek önderin önünün açık olması sağlanır. Bu durumda, çerçeve güncelleme döngüsünde tıkanıklık sezildikten sonra o anki öndere en uzak konumda bulunan bireyin bulunması gerekecektir.

Bu çözümün rastgele önder değişimi çözümüne göre uygulama açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Fakat her önder değişiminde var olan tüm bireylerin konumlarının taranmasından dolayı işlem yükü rastgele önder değişim yöntemine göre daha fazladır.

Şekil 4'te örnek bir canlandırmanın üç farklı anına ilişkin sırasıyla tıkanıklık durumu, en uzaktaki bireyin yeni önder olarak seçilmesi ve tıkanıklığın çözülmesi aşamaları görülmektedir. İlk resimde çevresi takım bireyleri tarafından sarılan önderin hareket alanı kalmamış ve takımın ortalama yer değiştirmesi belirlenmiş olan eşik değer altına düşmüştür. Böylelikle önder değişim algoritması devreye girmiş ve ortadaki resimde görülebileceği gibi öndere en uzaktaki birey, yeni önder olarak seçilmiştir. Eski önder, önderlik özelliğini kaybettiği için artık sıradan bir takım bireyi olarak yeni önderi izleme davranışını sergilemeye başlamıştır. Son resimde ise önü açılan yeni önderin hareketlenmesi ve takım bireylerinin de bu öndere yönelmeleri sonucu tıkanıklık durumunun çözüldüğü görülebilmektedir.

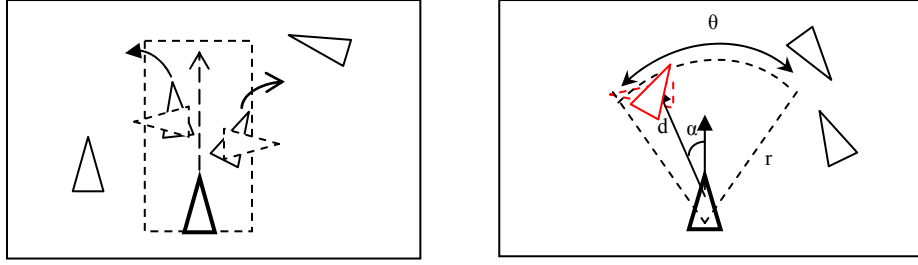


Şekil 4. Uzak bireyin önder olarak seçilmesi

3.3. Önderin Önünden Kaçınma Algoritması

Önder denetimli takım canlandırmalarında tıkanıklığın oluşmamasına yönelik çözümlerden biri olan ve önder dışındaki takım bireylerince uygulanan “önderin önünden kaçınma” konusundaki ilk düşünceler Reynolds’un önder izleme davranışı içinde gerçekleşmiş [6], fakat bu konu üzerinde başka bir gelişme göze çarpmamıştır. Önderin önünden kaçınma davranışının önder izleme davranışından soyutlanarak başlı başına yeni bir davranış modeli olarak ele alınmasının nedeni, canlandırma ortamında bulunabilecek takımdan bağımsız diğer hareketli etmenlerin ortamdaki önderlerin önünü kapatmamasını sağlamaktır. Canlandırma ortamındaki her birey belli bir önderi izlemek durumunda olmayabilir, fakat bu durumda da önderlerin hareket alanlarını kapatmamaları istenebilir. Böyle durumdaki bireylere önderin önünden kaçınma davranışı atanır. Bu davranış modelinde önderin önü olarak tabir edilen bölge, Şekil 5’te de görüldüğü gibi önderin hareket yönünde oluşturulan sanal bir dikdörtgen alan [6], veya önder merkez olmak üzere bu bireyin hareket doğrultusunda belirli bir açıyla taranmış olan bir daire dilimi şeklinde

tanımlanmıştır. Algoritmanın çalışmasını belirleyen tüm değerler (sanal dikdörtgenin boyu, sanal dairenin yarıçapı, tarama açısı) sistemin parametreleri olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5. Önderin önünden kaçınma (dikdörtgen ve daire dilimi yaklaşımları)

Önderin önünden kaçınma davranışını sergileyen bireyler herhangi bir anda bu alan içine girdiklerinde, önderin solunda veya sağında olmalarına bağlı olarak en kısa yoldan bu alanı terkedecek bir vektörel kuvvetin etkisine girerler. Bu itici kuvvet, önderin yön vektörüne dik bir vektör olarak seçilir. Daire dilimi yaklaşımında herhangi bir bireyin bu alan içinde olup olmadığının denetimi denetimi önderin bu bireye olan uzaklığı (d) ve önderin hareket yönü ile bu bireyin konumu arasındaki açı (α) parametreleri ile belirlenebilir.

Buna göre;

- $d < r$ ve
- $|\alpha| < \theta/2$

koşullarının her ikisi de sağlandığı takdirde bu bireyin önderin önünde olduğu anlaşılmış olur. Bu durumda birey kendisine en yakın kenara doğru ve önderin yön vektörüne dik açı yapacak yönde hareketlenerek bu alanı terkeder.

4. GERÇEKLEŞTİRİLEN TESTLER

Bölüm 2’te ele alınan tıkanıklık durumunun sezilmesi ve Bölüm 3’te incelenen tıkanıklık çözüm algoritmalarının takımın genel hareketi üzerindeki etkilerini gözleyebilmek için engelli ve engelsiz ortamlarda bazı canlandırmalar gerçekleştirilmiştir. Her iki ortam için gerçekleştirilen yöntemler aşağıda listelenmiş olup, bu farklı durumlar için canlandırma süresince takımın ortalama yer değiştirme değerleri bir dosyaya kaydedilmiştir.

- Değişmeyen önderlik (tıkanıklık durumu)
- Tıkanıklığı sezme ve rastgele önder değişimi
- Tıkanıklığı sezme ve en uzaktaki bireyin önder olması
- Önderin önünden kaçınma algoritmasının yürütülmesi

Canlandırmaların ortak parametreleri için seçilmiş olan değerler ise aşağıdadır :

- Toplam birey sayısı : 30
- Canlandırma ortamı : 600x600 benek boyutlarında, sınırları duvar ile çevrelenmiş.
- Canlandırma sayısı : 4 farklı yöntemin her biri için 10’ar canlandırma.
- Canlandırma süresi : 2500 çerçeve (yaklaşık 30 saniye).
- Bireylerin başlangıç konumları : Rastgele.
- İlk önderin seçimi : Rastgele.
- Tıkanıklık eşik değeri : 10 benek.
- Öndere tanınan ilk süre : 100 çerçeve.

Yapılan bu canlandırmaların gerçekleştirilme amaçları; önerilen yöntemlerin gerek engelsiz gerek engelli ortamlar için çalışıp çalışmadığının sınanması, bu yöntemlerin canlandırma

süresince takımın ortalama yer değiştirme değeri üzerindeki değişimlerinin incelenmesi ve bu yöntemlerin takımın ortalama yer değiştirmesi açısından gerçekten anlamlı bir farkının olup olmadığının belirlenmesidir. Bunun için yapılmış olan bazı istatistiksel testler ve sonuçları 5. Bölüm'de yer almaktadır.

Her bir yöntem için yapılan 10 farklı test arasından bu yöntemi temsil eden bir eğrinin belirlenebilmesi iki farklı şekilde yapılabilir. Bunlardan ilki, oluşan değerlerin ortalamasının alınarak bir ortalama eğrisinin çıkartılması olacaktır. Fakat bu eğri, gerçekleştirilmiş olan canlandırmalardan herhangi birine ait bir eğri olmayacağı gibi, tıkanma durumlarını da doğru olarak yansıtmayacaktır. İkinci bir yöntem olarak, hesaplanan bu ortalama eğrisine en yakın olan test eğrisi, temsilci eğri olarak seçilebilir. Bunun için her t anında, ortalama eğri ile test eğrileri arasındaki hataların kareleri hesaplanır ve bu hata kareleri toplamının en küçük olduğu test eğrisi temsilci eğri olarak belirlenir. Diğer bir deyişle herhangi bir yöntem için (1) eşitliğini minimum yapan i . test eğrisi, seçilecek olan temsilci eğridir.

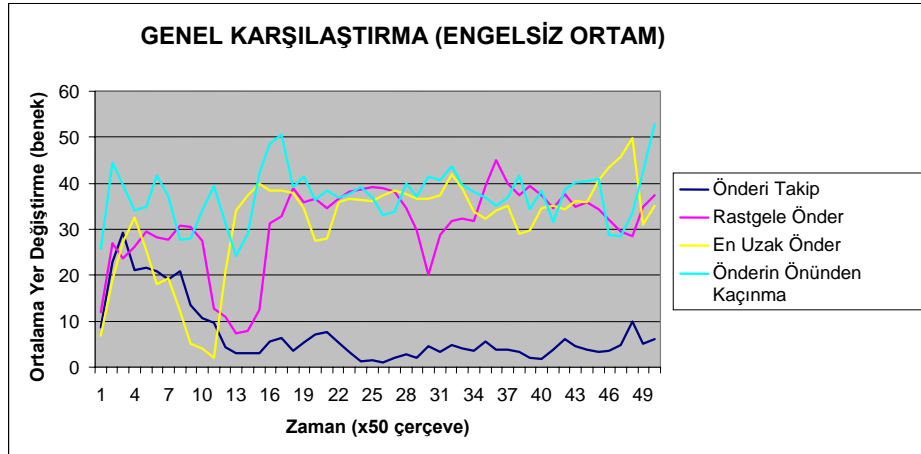
$$\Delta_i = \sum_{t=1}^{50} (d_t - x_t)^2 \quad i=1,2,\dots,10 \quad (1)$$

d_t = hesaplanan ortalama eğrinin t anında aldığı değer.

x_t = i . test eğrisinin t anında aldığı değer.

4.1. Engelsiz Ortam Testleri

Engelsiz ortamda 4 farklı yöntem için gerçekleştirilen testlere ilişkin elde edilmiş olan temsilci eğrileri Şekil 6'da gösterilmiştir. Önderi takip yönteminde bireylerin öndere yönelmesi ve çevresini kapatması, takımın tıkanmasına sebep olmuştur. Herhangi bir tıkanıklık testi yapılmadığı için takımın ortalama yer değiştirmesi eşik değer olarak seçilen 10 benek/birim zaman değerinin altında kalmıştır. Tıkanıklığa çözüm olarak önerilen rastgele önder değişim yöntemi ve en uzak önderin seçilme yöntemleri ile, ilk tıkanıklığın sezilmesinin ardından önder değişim algoritmalarının devreye girmesi sağlanmış ve tıkanıklık çözülmüştür. Rastgele önder değişiminde tıkanıklığın en uzak önder seçimine göre biraz daha geç açılmasının nedeni, ilk seçilen önderin her zaman için tıkanıklığı çözebilen bir önder olmamasıdır. Önderin önünden kaçınma algoritmasının takım bireyelerine atanması sonucunda ise takım herhangi bir tıkanma ile karşılaşmamıştır.



Şekil 6. Engelsiz ortam test sonuçları

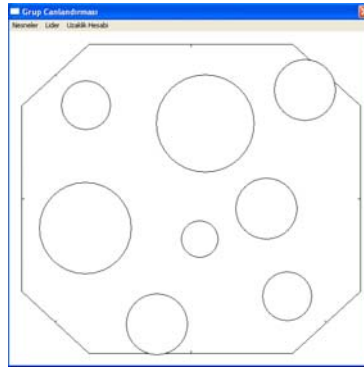
Önder değişiminin rastgele yapıldığı ve en uzak bireyin önder olarak seçildiği testlerde sistem tarafından yapılan önder değişim sayıları Çizelge 1’de verilmiştir. Rastgele önder değişiminde yapılan 10 testin 4’ünde tıkanıklık ilk önder değişiminde çözülebilmştir; buna karşın en uzak bireyin önder olarak seçiminde bu sayı 8’dir. Çizelgeden de görülebileceği gibi ortalamalar hesaplandığında tıkanıklığın çözülmesi, rastgele önder değişiminde 1.7 önder değişimi, en uzak bireyin yeni önder olarak seçildiği durumlarda ise 1.2 önder değişimi gerektirmiştir.

Çizelge 1. Engelsiz ortam testlerinde gözlenen önder değişim sayıları

	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5	Test6	Test7	Test8	Test9	Test10
Rastgele Önder	2	1	1	2	2	3	2	2	1	1
En Uzak Önder	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1

4.2. Engelli Ortam Testleri

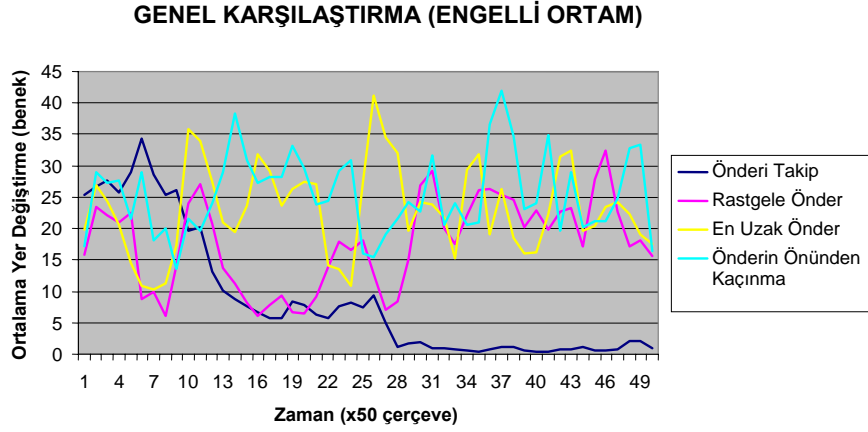
Bölüm 4.1’de gerçekleştirilen canlandırmaların benzerleri, Şekil 7’de görülen ve dairesel engellerin yer aldığı bir canlandırma ortamı üzerinde tekrarlanmıştır. Engellerin kapladığı alanın toplam alana oranı yaklaşık olarak %35’tir.



Şekil 7. Canlandırmaların gerçekleştirildiği engelli ortam

Gerçekleştirilen testlere ilişkin elde edilmiş olan temsilci eğrileri Şekil 8’de gösterilmiştir. Engelli ortamda yapılan canlandırmaların büyük bölümünde gözlenen ortak bir durum, önder etrafındaki ilk gruplaşmanın engelsiz ortama göre daha geç oluşmasıdır. Şekil 8’deki eğrilerde görülen dalgalanmalar, ortamdaki engellerden ve bireylerin yaptığı zorunlu yön değiştirmelerden dolayı takım hareketinde oluşan ani değişimlerin birer sonucudur.

Engelli ortamda gerçekleştirilen ve takım bireyelerine önderin önünden kaçınma davranışının atandığı duruma ilişkin canlandırmalarda da sistemin bazen önder değişimine gittiği gözlenmiştir. Önderin önünden kaçınmak isteyen bireylerin kaçma yönleri bir engel veya duvar ile kapandığında bu bireyler hareketsiz kalmış ve takımın ortalama yer değiştirme değeri kritik seviyenin altına düştüğünden sistem önder değişimini tetiklemiştir. Engelli ortamdaki canlandırmalarda ortaya çıkan önder değişim sayıları Çizelge 2’de verilmiştir.



Şekil 8. Engelsiz ortam test sonuçları

Çizelge 2. Engelli ortam testlerinde gözlenen önder değişim sayıları

	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5	Test6	Test7	Test8	Test9	Test10
Rastgele Önder	1	3	5	4	2	3	5	4	3	4
En Uzak Önder	2	2	2	1	3	1	2	2	2	2
Önderin Önünden Kaçınma	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4. Bölüm'de gerçekleştirilen canlandırmalarda sınanan yöntemlerin takım ortalama yer değiştirme değerleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması ve anlamlı farklar içerip içermediğinin belirlenmesi amacıyla elde edilen değerler üzerinde varyans analizi yapılmıştır. SPSS programı ile yapılan bu analizlerde şu sonuçlara ulaşılmıştır :

Engelsiz Ortam : Takım ortalama yer değişimi değerlerinin normal dağılım gösterip göstermediği Kolmogorov-Smirnov tek örneklem testi ile sınanmış ve bu verilerin normal dağılım göstermediği saptanmıştır. Bu yüzden varyans analizi parametrik olmayan Kruskal-Wallis H testi ile yapılmıştır. Bu testin sonucunda tıkanıklığa karşı önerilen üç çözüm yönteminin farklılıklar gösterdiği sonucuna varılmıştır. Fark yaratan yöntemin, önderin önünden kaçınma yöntemi olduğu görülmüştür. Çünkü önderin önünden kaçınma yönteminde takımda tıkanıklık oluşmadığı için elde edilen test değerleri, diğer iki yöntemle göre yüksek çıkmaktadır. Önder değişimi gerektiren iki yöntem ayrıca Mann-Whitney testine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak; engelsiz ortamlar için rastgele önder değişimi ve en uzaktaki bireyin önder olarak seçilmesi yöntemlerinin takım ortalama yer değiştirme değeri açısından anlamlı bir farklılık taşımadığı belirlenmiştir. Bu iki yöntem arasında yapılacak tercih, uygulamadan uygulamaya göre değişebilir. Rastgele önder seçimi, özellikle takımdaki birey sayısının yüksek olduğu durumlarda sistem başarımını düşürmeyen bir çözüm olabilir; fakat rastsallıktan dolayı tıkanıklığın ilk değişimde çözülme garantisi yoktur. Öte yandan en uzak bireyin önder olarak seçimi, takım bireyleri arasında uzaklık hesaplamalarından dolayı sistem başarımında bir düşüşe neden olacaktır; fakat tıkanıklığın ilk değişimde çözülme olasılığı özellikle engelsiz ortamlarda oldukça yüksektir. Ortam engelsiz

olduğundan her iki yöntemde tıkanıklık çözüldükten sonra ikinci bir tıkanma oluşma olasılığı da oldukça düşüktür.

Engelli Ortam : Takım ortalama yer değişimi değerleri yine Kolmogorov-Smirnov tek örneklem testi ile normallik sınamasına tabi tutulmuş ve bu değerlerin normal dağılım gösterdiği saptanmıştır. Bu yüzden varyans analizi olarak ANOVA testi kullanılmış ve bu test sonucunda yöntemlerin anlamlı farklar içerdiği sonucuna varılmıştır. Yöntemler arası ikili karşılaştırmalar ise Tukey testi ile yapılmış ve engelli ortamlar için bu yöntemlerin istatistiksel farklarının Çizelge 3'teki gibi olduğu görülmüştür.

Çizelge 3. Engelli ortamda tıkanıklık çözüm yöntemlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Yöntem	Takım Ortalama Yer Değişimi		
	Rastgele Önder	En Uzak Önder	Önder Önünden K.
Rastgele Önder		FARK VAR	FARK VAR
En Uzak Önder	FARK VAR		FARK YOK
Önderin Önünden K.	FARK VAR	FARK YOK	

Çizelge 3'den de görülebileceği gibi engelli ortamlarda takım ortalama yer değişimi için rastgele önder çözümü, diğer iki yönteme göre fark üretmiştir. Bunun en önemli nedeni Çizelge 2'den görülebildiği gibi ortaya çıkan fazla sayıdaki önder değişimidir. Takım tıkanıklığını çözemeyen her önder değişimi, takım ortalama yer değişim değerinin düşük kalmasına neden olmaktadır. En uzak önderin seçim yöntemi ve önderin önünden kaçınma algoritması ise takım ortalama yer değişimi açısından anlamlı sayılabilecek farklar üretmemiştir.

Sonuç olarak; önder denetimli takım canlandırmalarında oluşabilen tıkanıklık durumlarının denetimi ve tıkanıklığın çözümü yönünde önerilen algoritmaların engelsiz ve engelli ortamlar için çalıştığı ve olumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir. İleri bir çalışma konusu olarak, önder seçiminin etmenlerin aralarında verdiği bir karar sonucunda gerçekleşmesi, yani dağıtık bir önder değişim yönteminin geliştirilmesi önerilebilir. Böylece davranışsal canlandırmanın temelini oluşturan dağıtık yapının önder değişiminde de korunmuş olması ve tüm sistemin dağıtık bir yapıda çalışması sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Magnenat-Thalmann N. ve Thalmann D., "Computer Animation", ACM Computing Surveys, 28:161-163, 1996.
- [2] Reynolds C.W., "Flocks, Herds, Schools: A Distributed Behavioural Model", Proceedings of the SIGGRAPH '87 Computer Graphics, 21(4):25-34, 1987.
- [3] Renault O., Magnenat-Thalmann N. ve Thalmann D., "A Vision Based Approach to Behavioural Animation", Journal of Visualization and Computer Animation, 1(1):18-21, 1990.
- [4] Tu X. ve Terzopoulos D., "Artificial Fishes: Physics, Locomotion, Perception, Behaviour", Proceedings of Computer Graphics: 43-50, 1994.
- [5] Bécheiraz P. ve Thalmann D., "A Behavioral Animation System for Autonomous Actors Personified by Emotions", Proceedings of First Workshop on Embodied Conversational Characters, Lake Tahoe, CA: 57-65, 1998.
- [6] Reynolds C.W., "Steering Behaviors For Autonomous Characters", Proceedings of Game Developers Conference, March 15-19, San Jose, CA: 763-782, 1999.
- [7] Musse S. R. ve Thalmann D., "Hierarchical Model for Real Time Simulation of Virtual Human Crowds", IEEE Transactions on Visualisation and Computer Graphics, 7(2):152-164, 2001.

- [8] Bayazit O.B., Lien J-M. ve Amato N.M., “Better Group Behaviors Using Rule-Based Roadmaps”, Proceedings of the International Workshop on the Algorithmic Foundations of Robotics (WAFR), Nice, France, 2002.
- [9] Kelly I.D., "The Development of Shared Experience Learning in a Group of Mobile Robots", PhD Thesis, Department of Cybernetics, University of Reading, UK. 1997.
- [10] Li T., Jeng Y.J. ve Chang S., “Simulating Virtual Human Crowds with a Leader-Follower Model” Proceedings of the 2001 Computer Animation Conf., Korea, 2001.
- [11] Aubé, F. ve Shield, R., “Modeling the Effect of Leadership on Crowd Flow Dynamics. Lecture Notes in Computer Science, 3305:601–611, 2004.
- [12] Pelechano N. ve Badler N., “Modeling Crowd and Trained Leader Behavior During Building Evacuation”, IEEE Computer Graphics and Applications, 26(6):80-86, 2006.
- [13] Ji Q. ve Gao C., “Simulating Crowd Evacuation with a Leader-Follower Model”, International Journal of Computer Sciences and Engineering Systems, 1(4): 249–252, 2007.
- [14] Buckland M. (2005), Programming Game AI by Example, Wordware Publishing Inc., Plano, 2005.