

Altıgen Hücrel Otomatlar ile Tavaf Alanı Benzetimi Modeli

Umut Kaya¹, Ediz Şaykol²

¹ Kavram Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Programcılığı Bölümü, İstanbul

² Beykent Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul

m.umutkaya@gmail.com

ediz.saykol@beykent.edu.tr

Özet: Kalabalık benzetimi genellikle afet ve benzeri durumlarda bina veya alanlardaki kalabalığın güvenli ve hızlı şekilde uygun boşaltma yöntemini belirlemeyi hedef alan çalışma alanıdır. Boşaltma işleminin en az hasar ile gerçekleştirilmesi için gerçek kalabalık hareketlerinin bilgisayar ortamında yazılım sistemleri tarafından benzetilmesi sonucu en az maliyet ve en keskin çözüm yolu elde edilebilmektedir. Bu bağlamda, sosyal kuvvet modeli üzerinde araştırmalar yapılmış ve kütle ile doğru orantılı olarak momentum denkleminde sosyal kuvvet modeli ilkesi ifade edilmiştir. Benimsenen bu sosyal kuvvet modeli ile yayaların benzetimindeki hareket eğilimleri değerlendirilmiştir. Bu anlamda uygun bir uygulama alanı olarak literatürde tavaf ile ilgili çalışmalar yer almaktadır. Literatürdeki çalışmalarda hacı adayı olan yayaların yönlü olarak hareket benzetimlerinde hız hataları bulunmaktadır. Bu hataların en temel kaynağı ızgara tabanlı bir hücrel otomat modeli tercih edilmiş olmasıdır. Bu çalışmada, altıgen hücrel otomatlar ile yayaların tüm yönlerde hareketlerinin daha az hata ile veya hatasız modellenmesi sunulacaktır. Tavaf alanı ile ilgili önceki çalışmalar ile kıyaslamalar yapılarak daha gerçekçi modelleme yapıldığı gösterilecektir.

Anahtar Sözcükler: Kalabalık Benzetimi, Altıgen Hücrel Otomat, Tavaf Alanı Modeli.

Tawaf Area Simulation Using Hexagonal Cellular Automata

Abstract: Simulation of crowds is generally deals with evacuation of people from buildings and places safely and quickly under sudden situations, such as earthquakes, disasters and terrorist attacks. In order to perform this evacuation with minimum error, computer systems and software simulations can be used to predict the behavior of humans with low cost and best solution. To this end, computer scientists have been working on social force model that utilizes momentum equation proportional to the body mass. This social force model is generally used to model the movements of pedestrians. A typical application domain is tawaf area movements for the pilgrim, and there exist studies on this topic. In the literature, the studies generally suffer from velocity errors in the directional movemtns of the pedestrians. The main cause of this error is using grid-based cellular automata model in crowd simulation environments. In this study, we propose hexagonal cellular automata for the basis of the pilgrim directional motion in tawaf area with low velocity error or even no error. The model is also verified via comparing with the existing studies to show that the proposed model is more realistic.

Keywords: Crowd Simulation, Hexagonal Cellular Automata, Tawaf Area Model.



1. Giriş

Kalabalık simülasyonları genellikle deprem, yangın, afet, terör ve benzeri durumlarda binalarda ya da alanlarda bulunan kalabalığın güvenli ve en hızlı şekilde alanı hasarsız olarak nasıl boşaltması gerektiğini ve boşaltma işleminin en az hasar ile gerçekleştirilmesi için gerçek kalabalık hareketlerinin bilgisayar ortamında yazılım sistemleri tarafından benzetilmesi sonucu en az maliyet ve en keskin çözüm yolu olarak göze çarpmaktadır [3]. Boşaltma, Yayaları bina ya da bir alandan en kısa ne kadar sürede boşaltılacağını hesaplamak için kullanılır: Duman ve toksik gazların etkileri, ateş ve çıkışlardaki tıkanıklık. Karar verme ve yayaların hareketleri açısından önemlidir. Bu tip simülasyonların sonuçları boşaltım amacındaki çevresel geometriyi geliştirmek için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, yayaların benzetimi için sosyal kuvvet modeli üzerinde araştırmalar yapılmış ve kütle ile doğru orantılı olarak momentum denkleminde sosyal kuvvet modeli ilkesi çıkarılarak benimsenmiştir. Bu anlamda uygun bir uygulama alanı olarak literatürde tavaf ile ilgili çalışmalar yer almaktadır. Literatürdeki çalışmalarda hacı adayı olan yayaların yönlü olarak hareket benzetimlerinde hız hataları bulunmaktadır. Bu hataların en temel kaynağı ızgara tabanlı bir hücrel otomat modeli tercih edilmiş olmasıdır.

Bu çalışmada, altıgen hücrel otomatlar ile yayaların tüm yönlerde hareketlerinin daha az hata ile veya hatasız modellenmesi sunulacaktır. Tavaf alanı ile ilgili önceki çalışmalar ile kıyaslamalar yapılarak daha gerçekçi modelleme yapıldığı gösterilecektir.

2. Sosyal Kuvvet Modeli ile Tavaf Benzetimi

Helbing-Molnar tarafından sosyal kuvvet modeli üzerinde araştırmalar yapılmış ve

kütle ile doğru orantılı olarak momentum denkleminde sosyal kuvvet modeli ilkesi çıkarılarak benimsenmiştir [2]. Benimsenen bu sosyal kuvvet modeli yayaların hareket eğilimlerinde kullanılmıştır.

Sosyal Kuvvet Modeli; bireylerin sosyal alanlardaki mikroskobik davranışlarını tarif etmek için kullanılır. Bu model hareketli kişilerin ya da yayaların hareketlerinin Sosyal Kuvvetlere tabii olduğunu ifade eder. Bu Kuvvetler bireysel olarak iç motivasyonlar, hareketlenmeler, çarpışmadan kaçınma olarak ölçülür. Sosyal Kuvvet Modeli düşük ya da yüksek akışlı kalabalıkların simülasyonları için uygundur. Ama tek başına bize gerçek bir modelleme sağlamaz. Bu modellerin simülasyon sonuçları insanların hareketlerini yakın mesafedeki karışık etkilerin parça hareketlerine benzetilmektedir. İnsan tamamen fizik kurallarını uygulamaz, karar verir, başlar ve durur. Bu model karmaşık ve daha yüksek işlemler için güç gerektirir.

Sosyal Kuvvet Modeli Denklemi aşağıdaki gibidir:

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = m_i [v_{i0}(t) \cdot e_i(t) - v_i(t)] / [\tau]_t + \sum_j f_{ij} + \sum w_{fiw}$$

Bu denklemde m kütle (her bir yayanın kütlesi), v_{i0} etki-tepkiden yoksun hareket edecek yayanın istenilen hızı, e_i istenilen yön (etki noktalarına karşı), f_{ij} ajanlar arasında çarpışmadan kaçınmak birbirine uyguladıkları itme kuvveti, w_{fiw} yaya ve engeller (duvarlar) arasındaki itme kuvveti. τ zaman sabiti ve v_i verilen her andaki yayanın gerçek hızı. Her bir yaya için aynı hız kullanılmamış bunun yerine her bir ajanın hızı Çoklu Ajan Davranış motoru tarafından düzenlenmektedir.

Sarmady ve arkadaşları Kabe etrafında Tavaf eden hacıların simülasyonu için bir yazılım tasarlamış olup tasarladıkları yazılımda belirli kriterler doğrultusunda simülasyona en uygun



ve en az maliyetli yazılımı tercih etmişlerdir [4]. Kalabalık simülasyonu yazılımı normal durumlarda ise normal ya da acil olmayan durumlarda kalabalıkların hareketlerini simüle etmek için kullanılır. Yazılım paketleri kalabalık hareketlerinin daha hızlı ve daha rahat bir çevrenin geliştirilmesinin yollarını aramak için kullanılır. Kalabalık simülasyonu yazılımında oluşturulan listedeki sonuçlar Google temelli olarak kullanılmıştır. Kriterlere uygun en popüler 7 yazılım paketi seçilmiştir. 10.000 ajandan daha fazla simüle edebilen, düzenli yayınlanan ve gerçek durumlarda ve çeşitli projelerde kullanılan Simulex, Pedgo, GridFlow, ASERI, Legion, STEP's ve SimWalk yazılımları test için seçilmiştir. Değerlendirme kriterleri olarak da; Simüle Edilen Kalabalıkların Kapasitesi (% 25), Geometrik Araçların Tasarımı (% 15), Benzetim Modeli (Hareket Davranışı, % 35), Raporlama ve Yapı (% 25) verilen ağırlıklar oranında seçilmiştir.

Mescid-i Haram'daki kalabalığın simülasyon amacı için boşaltım çalışmalarından farklı normal durumları simüle eden bir yazılıma ihtiyaç duyulmuştur. Simulex, PedGo, Aseri ve Gridflow yazılımları sadece boşaltım simülasyonları için düşünülmüş olup Legion, Steps ve SimWalk yazılımları hem boşaltım hem de normal durumların simülasyonuna uygundur. İlk kategorideki (geniş kalabalıkların simülasyonunda) PedGo geniş kalabalıkları simüle edebildiği için diğerlerinden bir adım öndedir. Ancak PedGo şekilsel tasarımlarda en düşük skora sahiptir. Çünkü Auto CAD araçlarının özelliklerini desteklemez. Simülasyon modeli kategorisi için Legion'un diğerleri ile karşılaştırıldığında geniş özellikler barındırmakla birlikte en yüksek skora sahip olduğu belirtilmiştir. Legion, STEPs ve SimWalk daha fazla raporlama ve sonuç değerlendirme araçları sağlar ve bu yüzden bu kategorideki en iyi skorlara sahiptirler. İlk seçimlerdeki SimWalk, Legion ve Steps yazılımları hafifletme çalışmaları ile

diğerlerinden ayrılmıştır. Üç Yazılım sistemi de hem boşaltım hem de normal durumların simülasyonunu destekler. Sadece boşaltım simülasyonları göz önüne alındığında Aseri ve PedGo önerilebilir. Ancak bu üç yazılımdan en ekonomik olanının seçilmesi gerekmektedir.

2007 yılında ilk ajan temelli Tawaf alanı etrafındaki kalabalık simülasyonunu gerçekleştirmişler [4], yapmış oldukları bu çalışmada gaz, sıvı dinamik modeli ile birlikte Helbing Molnar sosyal kuvvet modelini kullanmışlardır. Akışkanlar ve parçacık dinamiği metodu, kuvvet-temelli model, Matriks-temelli model ve Kural temelli model en çok kullanılan fizik-temelli modellerdir. Sıvı ve gaz dinamiği metodu hareketlerin simülasyonunda kullanılan fiziksel modeldir. Matriks-temelli sistemler diğer yandan çevreyi hücrelere bölerek hücresel otomat modeliyle her bir hücre içine yapılacak hareketleri modellemek için kullanılmıştır. Ne kadar çok detay simülasyona eklenirse gerçeğe o kadar yakın modelleme yapılır.

Modelleme ve Kalabalık Simülasyonu çalışmasının yapıldığı makalede Sosyal Kuvvet Modeli, Hücresel otomat modeli ve Kural-temelli model incelenmiştir [5]. İlk yapılan öneri yayaların hareket işlemlerini basit katmanla modellenmesi ve daha sonra farklı model katmanlar kullanarak simülasyonu yapmaktır. Tawaf alanındaki hareketlerin tahminsel modelleme ile ilişkisi de incelenmiştir. Simülasyon platformu sunulmuş ve açık bir şekilde simülasyon araçları incelenmiştir.

3. Hücresel Otomat Modeli ile Tawaf Benzetimi

Hücresel Otomat Modeli yerel bölgelerdekiyle hücresel ızgaraların düzenli kullanımında kullanılmıştır. Komşu hücrelerin oluşturulmasında kullanılmıştır.

Bir sonraki bölümde kesin kurallar fonksiyon olarak her bir hücre hesaplamasında kullanılmıştır. Hücresel Otomat Modeli her bir hücre tek bir yayayı tutacak şekilde dünyayı ayrı hücrelere böler. Böylece model Hücresel Otomat üzerine kurulur ki yoğun kalabalığın gerçek anlamda simülasyonuna uygun değildir. Yayanın düzenli davranışı tahta oyunlarındaki gibi hareketler görülür. Küçükten orta yoğunluktaki kalabalıklar için CA daha iyi bir uygulamadır. Basit algoritma adımları ile bu metotlar çok hızlıdır. Meyer-Konig simülasyon döngüsünü 10.000 ajanı içerecek şekilde 1/30 saniyede tek bir işlemci ile yapmayı başarmıştır.

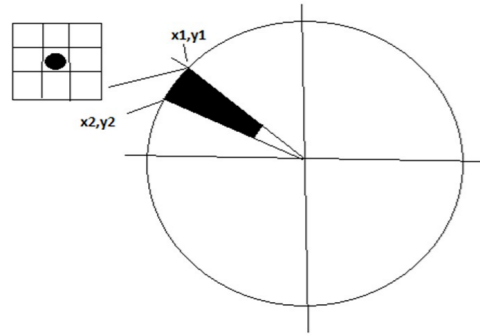
Tawaf alanında, hacılar dua etmeye gitmek gibi özel niyetlerle tipik hareket eder, bunu Tawaf'a gidiş takip eder ya da Saie için Safa-Marwa.Tawaf'a gitmek hareket prosedür modeline göre niyet olarak değerlendirilir. Her bir niyet özel hareket serileri içinde sonuçlanabilir. Örneğin, Tawaf yapma, kişi Mescid-i El Haram' a gitmelidir, tawaf yapmalıdır, ve daha sonra belki Makam İbrahim' de dua edebilir ve camiden ayrılabilir. Hareket serilerindeki her bir niyetin ve makroskobik hareket serilerindeki aksiyonların haritalandırılması gerekmektedir. Mescid-i El Haram' a gidiş, tawaf yapma, Makam İbrahim'in arkasında dua etme ve camiden ayrılma. Diğer katmanların simülasyonu makroskobik hareketlerin modellenmesine ihtiyaç duyar. Tawaf Kabe etrafında 7 kez dönmeyi içerir. Kabe etrafında birkaç nokta gezinmek için belirlenir. Bu metodoloji ile Mikroskobik hareketlere ihtiyaç duyan hareketin tamamlanması için gereken noktalar arasında gezinmek zorunda olunacaktır. Alternatif yol ise Kabe etrafındaki ortalama yarı çapı korumak olacaktır. Bu niyete ulaşmak için hareket grafiğinde düzenlenen birkaç alternatif hareket listesine sahip olunabilir. Daha genel bir senaryo içinde hareketleri, niyetleri düzenlemek için çoklu ajan davranış sistemi istenebilir. Daha önce vurgulananların

ışığında, böylece Hücresel Otomat ve Sosyal Kuvvet Modeli daha aşağıdaki katman üstündeki mikroskobik hareketlere odaklanır, bu yüzden daha gerçekçi bir simülasyon inşa etmek için bunların üstündeki parametrelere ihtiyaç duyulur. Hareket işleminin üstüne eklenen ilave iki katman objektif bir sonuca ulaşma konusunda yardımcı olacaktır.

Dairesel Yaya Hareketlerinin Çoklu Ajan Simülasyonu için Hücresel Otomat kullanmışlardır [5]. Kalabalık davranışlarının simülasyonu farklı katmanlar içerir. Mikroskobik hareket davranışları oda içindeki çarpışmadan kaçınma gibi kalabalık modellemenin çok önemli bir parçasıdır. Diğer yandan Makroskobik davranışlar farklı alanlar arasında gezinme için gözönüne alınmıştır. Yayaların makroskobik ve mikroskobik davranışları modellerin makroskobik ve mikroskobik kategorizasyonu ile farklılaştırılmalıdır.

Literatürde raporlanan modeller iki ana grupta kategorize edilebilir. Makroskobik simülasyonlar akış, yoğunluk ve hız gibi tüm kalabalığın genel özellikleri ile ilgilidir. Bu modeller bireysel yayaların çevre ve diğer yayalar ile olan etkileşimlerini gözönüne almazlar ve bunun yerine yürüme hızındaki ve kalabalığın genel hareketleri hesaplamak için akışı kullanırlar. Öte yandan mikroskobik modeller bireysel yaya davranışlarını ve etkileşimlerini simüle ederek kalabalığın gelişmekte olan davranışını simüle ederler. Parçacık, sıvı ve gaz dinamikleri metotları Sosyal Kuvvet Modeli ve diğer güç temelli modeller gibi yaya hareketlerinin simülasyonunda fizik temelli modeller kullanırlar. Öte yandan Matriks temelli sistemler hücresel otomat yaklaşımı ve mesafe haritalandırma gibi çevreyi hücrelere böler ve hücresel otomat kullanır ya da hücreler içindeki yayaların hareketlerini modellemek için benzer metotlar kullanırlar.

Son zamanlarda yapılan çalışmalar [1, 7, 8] yukarıda değinilen modellerin üstüne insan davranış modelini ekleyerek kalabalık simülasyon sonuçlarının geliştirilmesi için yapılmıştır. HiDAC-MACES sistemi Pelechano'nun psikolojik ve şekilsel kuralları yüzlerce ajanın simülasyonu için sosyal kuvvet modeli üzerinde kullanması ile yaratılmıştır. Bu model frenleme ve itme kuvvetlerini çarpışmadan kaçınma ve itme etkisinin simülasyonu için uygundur. Pelechano daha fazla bireysel davranışa ve böylece daha gerçekçi kalabalık simülasyonuna izin veren



Bir sonraki hücre seçimi için kullanılan hücresel otomat

mikro ve makro hareket seviyelerinde ajanların karar vermesini etkileyebilen PMFserv insan davranış modeli birimini MACES kalabalık simülasyonu sistemine entegre etmiştir. Bir önceki yazıda camideki kalabalıklar gibi büyük ve yoğun kalabalıkların simülasyonu için daha uygun görünen farklı mikroskobik hareket modelleri yorumlanmıştır. Sonraki sayfada özellikleri ve yeteneklerinin araştırıldığı simülasyona uygun birkaç yazılım hakkında yorum yapılmıştır. Camiye özel kalabalık hareketlerini simule edebilecek özel geliştirilmiş bir yazılıma ihtiyaç olduğu ile sonuçlandırılmıştır. Bu yolla bireysel hacıların davranışlarının simülasyonunda daha gerçekçi sonuçlara ulaşılabilir.

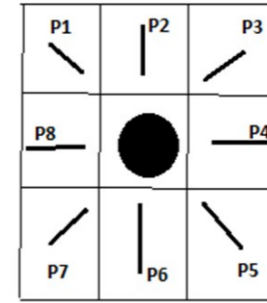
4. Tavaf Hareket Algoritması

Tavaf modellemesindeki temel olgu, yayaların Kabe etrafında dönerken dairesel

yolu korumaya çalışmasıdır. Sonuç olarak, burdaki hücresel otomat algoritması en iyi hücre seçimini ve çarpışmadan kaçınmayı sağlarken makroskobik dairesel yolun korunmasını sağlayacaktır. Tawaf esnasında yayalardan bazıları nedense Kabe'nin daha yakınına gitmeye çalışabilir. Her bir zaman diliminde yaya hareket için mümkün olan 8 Moore komşuluğundan birini seçecektir. Seçilecek olan 8 Moore komşuluğunun düzenlenmesi için En iyi saat yönünün tersi denilen algoritma kullanılmıştır. Bu algoritmada, ilk önce 8 olası hücrenin arasından her bir yaya tarafından hareket için seçilecek olan istek seviyesi belirlenmiştir. İstek seviyesi her bir hücre içine yapılacak olan hareketin olasılığı olarak kullanılır. Eğer seçilen hücre yayanın istenilen çapından çıkmasına sebep olursa, bu hücre düşük olasılıkta olacaktır. Bununla birlikte tavafın daha kısa sürede bitirilmesine yardımcı olan hücreye olan hareket yüksek olasılıklı olarak belirtilecektir. Eğer hücre ızgaranın dışındaysa ya da eğer bir yaya ya da nesne tarafından işgal edilmişse istek seviyesi 0 olarak belirtilecektir. Şimdiki ve bir sonraki pozisyonu arasında yayanın çelişki yaşamasından kaçınmak için bir önceki durumundan saat yönünün tersi yönde olacak şekilde hücreler düzenlenmiş ve eğer hücre yanlış yönde ise çok düşük seçim olasılığına sahip olacaktır.

Hücre seçme algoritması her bir hareket yer almadan önce bütün yayalar için çalıştırılır. Bütün yayalar için bir sonraki hücre seçimi yapıldıktan sonra hücrelerin güncellenmesi yapılacaktır. Sadece komşuluklara geçişen izin verilen durumda her bir zaman diliminde ($v_{max}=1$ cell) her bir hücredeki yayanın maksimum hızı 1 hücre geçişi olarak dağıtılmıştır. Daha büyük maksimum hızın 2 boyuta uygulanması daha zor olacaktır. Mümkün olan hedef hücrelerin sayısı etki oranının karesi şeklinde artacaktır. İlaveten geçiş yörüngesine ve çapraz harekete karşı daha kuşku olabilecek diğer yayalar tarafından

kapatılıp kapatılmadığının kontrol edilmesi gerekecektir. Yayaların hızını düzenlemek için aynı yaklaşım kullanılmıştır. Simulasyondaki tüm yayaların hızı 1.3 m/sn dir. Böylece her bir hücrenin boyutu 40 cm olarak kabul edilecek ve her bir simülasyon zaman geçişi 0.3 sn ye eşit olacaktır.



Moore Komşuluğundaki her bir hücre içine yapılacak hareketin olasılıkları

Bir başka çalışmada En Az Çaba Kalabalık Hareketleri içinde Yaya Gruplarının Modellenmesinde Hücresel otomat kullanmışlardır [6]. Buradaki en az çaba modelinde, olasılıklar her bir komşu hücrenin talep edilebilirlik temelinde tanımlanmıştır. Hedef noktaya yakın olan hücre en yüksek olasılığa sahiptir ve hedef noktadan en uzakta olan hücre en düşük olasılık değerini alır. Bu yolla yayalar en az çabaya ihtiyaç duyarak en kısa yol üzerinden hedefe hareket edecektir. Ancak gerçekte yayalar her zaman en kısa yol üzerinden hareket etmez. Bu yüzden yayaların düşük olasılıkla da olsa diğer komşu hücrelere hareketine izin veren olasılık temelli model kullanılmıştır.

Bu modelde geçiş olasılığı P_i (i hücre sine olan hareketin olasılığı)

$$P_i = N M_i$$

M_i , her bir komşu hücre için hesaplanır.

$$M_i = (1 - n_i) e^{\beta R_{min}/R_i}$$

$$R_{min} = \text{Min}(R_i), n \in \{0,1\}, \beta \gg 0, R_i \neq 0$$

N , 1'in Komşu 8 hücrenin tümünün olasılıkları toplamına bölümdür.

$$N = 1/\sum M_i$$

Yaya hedefin Moore komşuluğuna vardığında yukarıdaki denklemdeki istisnai durum gerçekleşir. Böylece eğer hedef hücre işgal edilmemişse bu hücrenin içine yapılacak hareketin olasılığı 1 olacak ve diğer bütün hücreler 0 olasılığını alacaktır. Yukarıdaki denklemde R_i i hücre sinin hedef hücreye olan uzaklığıdır. R_{min} hedefe en yakın Moore komşuluğunun uzaklığıdır. R_{min}/R_i hedefe en yakın hücre ile seçilen hücrenin uzaklık oranını belirtir. Moore hücreleri içindeki hedefe uzaklıkları arasındaki fark çok küçük olabilir ve bu yüzden de 8 komşuluğun her birinin içine yapılabilecek hareketin olasılığı hemen hemen birbirine eşittir. Yayanın çoğu zaman hedefe daha yakın hücreyi seçmesi tercih edilir. En yakın hücre etrafındaki olasılığın kesinliğinin kontrolü için (exponential) fonksiyonu kullanılmıştır. B parametresi amacımızı yerine getirecek olan üstel fonksiyonun parametresidir. n_i yaya tarafından işgal edilen i ninci hücreyi temsil eder. Eğer hücre çoktan işgal edilmişse işgal edilen hücrelere

```

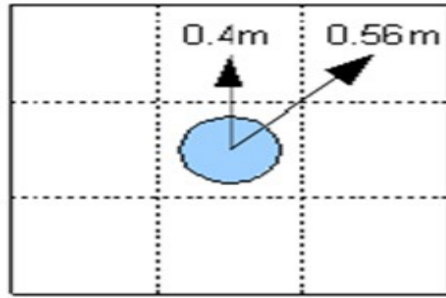
Point BestAnticlockwise()
{
for(all 8 neighbours)
{
if(PointInGrid)
if(CellNotOccupied)
if(CellsInAntiClockWiseSideOfCurrentPosition)
{
ComputeDiameterDifferenceFromDesired()
MoveToCell=OK
}
}
}
for(OKCells)
{
SelectTheCellWithLeastDifferenceFromDesiredDiameter()
}
return Point
}

```

Tavaf bir sonraki hücre seçim algoritması

yapılacak hareketin olasılığı 0 olunca ni değeri 1 olacaktır.

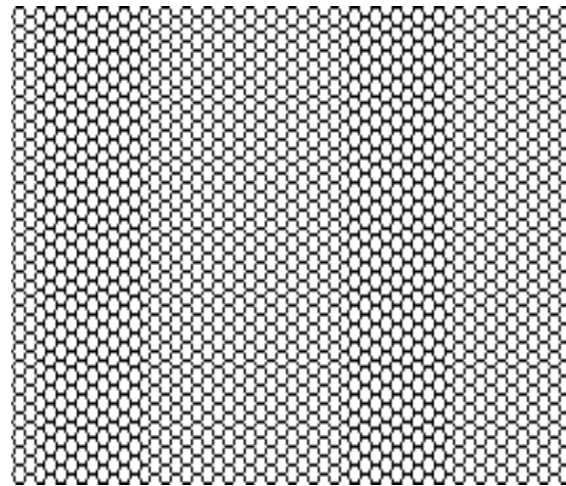
Kalabalık Simülasyonları için kullandıkları hücresel otomat yerine Daha ince Izgaraya sahip hücresel otomat kullanmışlardır [8]. Kalabalık içindeki yayaların küçük çaplı hareketlerinin ve birbirleriyle olan etkileşimlerinin simülasyonu için var olan modeller iki ana grupta kategorize edilebilir. Parçacık, gaz ve sıvı dinamiği metotları ve yayaların hareketlerinin modellenmesi için fizik kanunlarını kullanan fizik temelli teknikler. Helbing' in sosyal kuvvet modeli ve diğer kuvvet temelli modeller bu kategoride değerlendirilebilir. Öte yandan hücresel otomat ve diğer matris temelli modeller simülasyon alanını hücrelere böler. Yayalar her bir model için belirlenen geçiş kuralları temelinde bu hücreler içine hareket eder.



İnce Izgaralı Hücresel Otomat: En popüler hücresel otomat modellerinde her bir yaya tek bir hücreyi işgal edecek şekilde sunulur. Yayalar düzenli basit kurallar temelinde 8 komşu hücreden birine (eğer hücre boş ise) geçiş yapar. Sonuç olarak yayaların hareketleri satranç tahtasındaki taşların hareketi gibi yayaların farklı yer değiştirmelerini içermektedir. Birim zamandaki yayaların hareketlerinin hızı da farklıdır. Çünkü Simülasyon zaman aşamasında yaya durabilir ya da 1 hücreye hareket edebilir. Sonuç olarak eğer 1 saniye 4 zaman aşamasına bölünürse ve her bir hücre 40*40 cm olarak göz önüne alınırsa her bir yayanın hızının değeri 0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 m/sn olabilir.

Hareket Hız Hatası: Daha önce de değinildiği üzere Yaya hareketlerinin hücresel otomat kullanılarak simülasyonu zayıflıklara sahiptir. Hücre boyutlarının artmasıyla farklı yaya profilleri için daha doğru hızlara ulaşabilir ve bu modellerin en önemli eksikliklerinden birini kapatmaya ulaşabiliriz. Hücresel otomat kullanılarak yapılan simülasyonda göz önüne alınması gereken bir diğer problem de Moore komşuluğundaki köşedeki 4 hücreye yapılacak olan hareket ile diğer 4 hücreye yapılacak olan hareketin karşılaştırılmasındaki farktır. Her bir hücreye yerleştirilen yayaları içeren geleneksel hücresel otomat modelinde (0.4m*0.4m hücre ölçüsünde) köşedeki hücre ile olan uzaklık 0.56m'dir.

Yön doğrultusunda olan hücrelere olan uzaklık 0.4 m'dir. Sonuçta benzer sayıdaki hareketler içinde köşedeki hücreler içine olan yaya hareketindeki ile yön doğrultusunda olan yayaların hareketindeki kalabalık üyelerinin hızları karşılaştırıldığında köşedeki hücrelere olan hareket eden yayalar daha yüksek anlık hıza sahip olacaktır. Şartları iyileştirmek için yayanın maksimum serbest akış hızı temelinde belirli zaman aralığı içerisindeki bireysel hareket mesafesi sınırlandırılabilir. Bireysel yayanın bir sonraki hareketi bu zaman aralığında izin verilen mesafeyi aşarsa hareket yasaklanacaktır.



5. Altıgen Otomat ile Tavaf Benzetimi

Önerilen yöntem ile yapılacak benzetim ortamında izlenecek temel adımlar şöyledir;

- Hexagonal platformun hazırlanması (yukarıdaki şekilde resmedilmiş altıgen hücresel otomata modeli)
- Ajanların moore komşuluklarının hesaplanması
- Komşuluklardaki mesafelerin hesaplanması
- Komşuluklara yapılacak hareketlerin olası hızlarının hesaplanması
- Simülasyon ortamının hazırlanması
- Hexagonal platform hazırlandıktan sonra ajanların rastgele hücrelere yerleştirilmesi
- Ajan hareketlerinin simülasyonu için moment denklemine ilaveler yapılması
- Algoritmanın hazırlanması
- Kodlamanın yapılması
- Katmanların oluşturulması

6. Kaynaklar

- [1] Beacco A., Pelechano N., Andujar C., "A Survey of Real-Time Crowd Rendering", **Computer Graphics Forum**. DOI: 10.1111/cgf.12774, (2015).
- [2] Helbing D., Molnár P. "Social force model for pedestrian dynamics", **Physical Review E** 51: 4282-4286 (1995).

[3] Pelechano N, Badler N, "Modeling Crowd and Trained Leader Behavior during Building Evacuation. **IEEE Computer Graphics and Applications**, 26(6): 80-86, (2006).

[4] Sarmady S., Haron F., Talib A.Z.H., "Multi-Agent Simulation of Circular Pedestrian Movements Using Cellular Automata", **Asia International Conference on Modelling and Simulation**, 654-659 (2008).

[5] Sarmady S., Haron F., Talib A.Z.H., "Modeling Groups of Pedestrians in Least Effort Crowd Movements Using Cellular Automata", **Asia International Conference on Modelling and Simulation**, 520-525 (2009).

[6] Sarmady S., Haron F., Talib A.Z.H., "Simulating Crowd Movements Using Fine Grid Cellular Automata", **UKSim**: 428-433 (2010).

[7] Sarmady S., Haron F., Talib A.Z.H., "A cellular automata model for circular movements of pedestrians during Tawaf", **Simulation Modelling Practice and Theory** 19(3): 969-985 (2011)

[8] Sarmady S., Haron F., Talib A.Z.H., "Simulation of Pedestrian Movements Using Fine Grid Cellular Automata Model", **CoRR** abs/1406.3567 (2014).