

UDC: 004.42:[007.52:519.8]

INFO M: str. 17-22

ČESTIČNI SISTEMI U KOMPJUTERSKOJ ANIMACIJI I NJIHOVA PRIMENA PARTICLE SYSTEMS IN COMPUTER ANIMATION AND THEIR APPLICATIONS

Marko Lazić, Ana Perišić, Miloš Beočanin

REZIME: Čestični sistemi su jedan od osnovnih alata kojima se prikazuju određene fuzzy pojave u kompjuterskoj grafici. U radu su predstavljene istorija čestičnih sistema, njihove osobine, elementi i praktična primena. Zatim su analizirani diplomski radovi iz oblasti računarske grafike na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu u kojima su korišćeni ovi sistemi. Analizirani su prema 4 elementa koji su važni za vizualizaciju čestičnih sistema. U odnosu na emitera, fizičke sile koje deluju na sistem, vreme trajanja čestica i vizuelni prikaz. Dobijeni rezultati pokazuju da je moguće dostići visok nivo realističnosti kompjuterske animacije upotrebom ovih sistema. S obzirom na njihovu popularnost u svetu, poznavanje čestičnih sistema u toku visokog obrazovanja vezanog za kompjutersku vizuelizaciju je poželjno, veoma korisno i neophodno.

KLJUČNE REČI: čestični sistemi, fuzzy pojave, kompjuterska animacija

ABSTRACT: Particle systems are primary tool for computer visualisation of certain fuzzy phenomena. This paper presents history, features, elements and practical applications of particle systems. An analysis is also given based on several master's theses in computer graphics field in which particle systems were used. They are analysed in the framework of 4 elements which are important for visualisation of particle systems. Those elements are: emitter, physical forces acting on the system, lifetime of particles and their visual appearance. Results show that a high level of visual realism is achievable through the usage of particle systems. Given their worldwide popularity, knowledge of particle systems through the course of higher education in area of computer visualisation is desirable, very useful and much needed.

KEY WORDS: particle systems, fuzzy phenomena, computer animation

1. UVOD

Rad se bavi istraživanjem čestičnih sistema u njihovom istorijskom okviru, praktičnoj primeni i njihovoj primeni u visokom obrazovanju. Cilj istraživanja je da se pokaže da je obuka za rad sa čestičnim sistemima lako primenljiva na predmetima vezanim za 3d grafiku u visokom obrazovanju. Simulacije prikazane u studentskim diplomskim-master radovima daju uvid u raznovrsnost i realističnost ovakvih sistema, koje je veoma teško dobiti na druge načine. U radu je primenjeno nekoliko metoda istraživanja. Rad se prvo bavi istorijskom analizom čestičnih sistema kako bi se formirao kontekst unutar koga će se vršiti ispitivanje i njihova praktična primena. Nakon toga, formirani su kriterijumi važni za primenu sistema i njihovu klasifikaciju. Potom su, na osnovu kriterijuma, prikazani studentski radovi koji se bave simulacijom čestičnih sistema. Glavna hipoteza rada je da se korišćenje čestičnih sistema, u svrhu simulacije *fuzzy* pojava, uklapa svojim sadržajem, obimnošću i složenosti u gradivo visokih škola koje se bave 3d grafikom.

1.1. Definisane osnovnih pojmova

Čestični sistemi (*particle systems*) se koriste u kompjuterskoj grafici kada je potrebno prikazati određene *fuzzy* pojave, koje je teško, odnosno nepraktično prikazivati na bilo koji drugi način. Pod *fuzzy* pojavom se podrazumeva „slabo definisan” objekat vizuelizacije koji ne poseduje čvrsto agregatno stanje (fluid), te je nemoguće precizno opisati njegov oblik i strukturu, jer se oni kontinualno menjaju sa određenom merom sporadičnosti. Kao posledica toga teško je ili nemoguće pronaći dva ili više primera identičnih *fuzzy* pojava u

prirodi. Promene oblika i strukture *fuzzy* pojava su pod uticajem mnoštva njenih integralnih elemenata, kao i spoljašnjih sila koje deluju na nju u celini ili pojedinim delovima. Primeri *fuzzy* pojava su kretanje fluida, vatra, oblaci, dim i sl.

Moguće je i režim u kome se pamte i prikazuju diskretni položaji u kojima se čestica nalazila tokom kretanja, pa se na taj način prikazuje putanja čestice. Ovakvo prikazivanje karakteriše statičke čestične sisteme. Uz pomoć njih se generiše trava, kosa i sl.

Čestične sisteme u kompjuterskoj grafici moguće je izvesti i u dvodimenzionalnom prikazu (u postprodukciji), ali se ovaj rad bavi simulacijom čestičnih sistema u 3D prostoru u svrhu vizuelizacije i animacije odgovarajućih objekata i pojava.

2. ISTORIJA KORIŠĆENJA ČESTIČNIH SISTEMA

Osamdesete godine 20. veka donose mnoge novine u hardverskoj i softverskoj industriji, a kao posledica se javljaju novine i u kompjuterskoj vizuelizaciji. Tih godina započeo je veliki broj istraživanja vezanih za vizuelne efekte od kojih se neki još uvek upotrebljavaju u kompjuterskoj vizuelizaciji. Neki od njih su praćenje svetlosnih zraka (*ray tracing*), grafika volumena (*volume graphics*), tekstura čvrstih elemenata (*solid texturing*), fraktali, mapiranje okruženja (*environmental mapping*) i čestični sistemi (Parent, 2000).

U kompjuterskoj grafici čestični sistemi prvo su korišćeni od strane Reeves-a (1983). On je čestice predstavljao u sfernom, pravougaonom ili kružnom obliku. Dinamika ovih prvih sistema bila je prilično jednostavna. Jedina sila koja je uticala na čestice bila je gravitaciona sila. Ovi početni sistemi bili su dinamički, ali je dve godine kasnije objavio rad u kojem je

predstavio i statičke sisteme (Reeves i Blau, 1985). Godine 1990. čestični sistemi su uspešno renderovani (prikazani) i prezentovani na tadašnjim superkompjuterima od strane K. Simsa u animacijama kao što su *Particle Dream* (Slika 1¹) i *Panspermia*. Ove animacije imale su veliki uticaj na dalji razvoj simulacije čestičnih sistema.



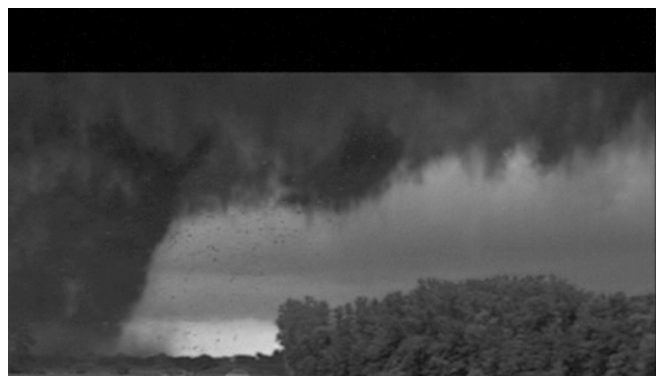
Slika 1. Karl Sims, *Particle Dream* (sekvenca iz animacije), generisani vodopad

Od ovakvih efekata najveću korist imale su kompanije koje se bave animacijom, a to su pre svih filmske kompanije i kompanije za razvoj video-igara. Čestični sistemi koje je Reeves (1983, 1985) razvijao bili su posledica na radu na uvodnom delu filma *Star Trek II: The Wrath of Khan* (1982, *Lucasfilm*) (Slika 2²) gde je prikazano uništenje planete sa zidom od vatre. Drugi značajniji filmovi koji su koristili ove sisteme su prema Parentu (2002) *Lawnmower man* (1992, *Angel Studios, Xaos*), gde je prikazana dezintegracija tela na sitne sfere. Takođe, jedan od boljih primera kada je usavršeno prikazivanje realističnih čestičnih sistema je film *Twister* (1996, ILM) (Slika 3³), gde se tornado prikazivao uz pomoć ovih sistema.



Slika 2. Uvodna sekvenca filma *Star Trek 2: The Wrath of Khan*, planeta u plamenu

¹ Copyrighted: 1988, <http://www.karlsims.com/particle-dreams.html>
² Copyrighted: 1982, Paramount Pictures, <http://www.paramount.com/>
³ Copyrighted: 1996, Warner Bros, <http://www.warnerbros.com/>



Slika 3. Sekvenca iz filma *Twister*, tornado simuliran čestičnim sistemom

Video-igre uvele su čestične sisteme i mnogo ranije (1960), ali su bili simulirani u 2D okruženju. Tek 80-ih godina 20. veka pojavljuju se prve popularne video-igre u 3D okruženju, a 90-ih godina čestični sistemi postali sastavni deo 3D video-igara (Slika 4⁴). U današnjem vremenu oni se pojavljuju u svakoj novoj video-igri i koriste se veoma mnogo u visoko-budžetnim filmovima za pravljenje specijalnih efekata. Koriste se u gotovo svim slučajevima kada se u animiranom filmu ili video-igri prikazuju efekti vatre, dima, eksplozije, loma stakla i drugih objekata ili toka fluida. Poslednje pomenuto ne mora biti vizuelizovano česticama, ali je to najčešći metod za njegovo prikazivanje (Müller, Charypar i Gross, 2003). Efikasna simulacija i prikaz čestica još uvek su veoma aktuelna tema različitih istraživanja.



Slika 4. Realistični vizuelni efekti iz kompjuterske igre *The Elder Scrolls V: Skyrim*, prikaz u realnom vremenu (*real-time render*)

Realističnost prikaza zavisi od trenutne tehnologije u hardverskoj industriji. Na računarima koji predstavljaju najnoviju tehnologiju u današnjici moguće je dobiti veoma realistične rezultate. U animacijama i filmskoj industriji produkt se može dobiti za neodređenu količinu vremena, jer je rezultat konačan prikaz koji je generisan u nekom ranijem periodu. U industriji video igara generisanje prostora je u realnom vremenu (*real-time*) i zato je mogući broj prikaza čestica teoretski beskonačan. Kod ove vrste renderovanja je zato najbitnije vreme za koje se može renderovati scena sa velikim brojem čestica

⁴ Copyrighted: 2004, Bethesda Game Studios, <http://www.bethsoft.com/>

i količina čestica koje se renderuju. U članku Tobiasa Pfaffa i drugih (2010) izvršena je uporedna analiza prikaza čestica u realnom vremenu na kompjuteru sa najmodernijom tehnikom⁵. Dobijeni rezultati govore da je moguće dobiti scenu koja se emituje u 15 frejmova u sekundi sa čestičnim sistemom od oko 1 milion čestica. Ovo ilustruje visok nivo realističnosti koji se može dobiti ovakvim prikazom.

3. ELEMENTI ČESTIČNIH SISTEMA I MODEL SIMULACIJE

Rad posmatra simulaciju čestičnih sistema iz aspekta 4 osnovna elementa čestičnih sistema koji su:

- emiter (definiše opšta svojstva čestica i početne uslove njihovog kretanja, uključujući i mesto sa kog se čestice generišu)
- sile (fizička svojstva okruženja koje utiče na čestice)
- vreme (opisuje životni vek svake čestice)
- renderovanje (načini na koje se čestice prikazuju)

Kretanje svake čestice definisano je njenim pomeranjem i rotacijom od emitera, u pravcu koji zavisi od sila. Kretanje, stoga, nije definisano samo afinim pomeranjem, već „kompleksnim i diferencijalnim jednačinama“ (O'Bryan i Karavasileiadis, 2009:10). Samo ovakvim kretanjem moguće je postići realističnost.

Da bi se čestice uopšte kretale, neophodna je fizička simulacija koja će to da podrži. Osnovni model simulacije čestičnih sistema obuhvata nekoliko koraka koji se ciklično ponavljaju sa visokom učestalošću:

1. generisanje novih čestica odgovarajućom frekvencijom, sa svojstvima, životnim vekom i početnim uslovima kretanja, odnosno brzinama kretanja i rotacije definisani emitrom,
2. uklanjanje čestica kojima je istekao životni vek.
3. ažuriranje brzine kretanja i rotacije čestica na osnovu eventualnog sudara sa ostalim česticama, ili drugim objektima scene. Ovo je vremenski vrlo zahtevan korak, prvenstveno zbog velikog broja čestica, pa se po potrebi izbegava,
4. ažuriranje brzine kretanja i rotacije čestica na osnovu njihovih svojstava, trenutne pozicije, opštih pravila kretanja u okruženju i eksternih sila koje deluju na čestice na njihovom trenutnom položaju,
5. ažuriranje položaja i rotacija čestica,
6. renderovanje čestica na trenutnom položaju: prikaz čestica sa različitim parametrima kao što su oblik, boja, prozirnost, refleksija, projekcija senke i sl. Ovo je vremenski najzahtevniji korak, pa se pojedini elementi po potrebi izostavljaju (refleksija, projekcija senke i sl.).

Čestične sisteme moguće je kompjuterski generisati u različitim programima. U industriji video-igara gotovo svaki noviji *Game Engine* (apstraktna generička mašina zadužena za funkcionisanje video-igre) poseduje način za generisanje

⁵ Grafička kartica: NVidia GTX 480, procesor: Intel Core i7 i 8GB RAM memorije

čestičnih sistema. U industriji animacije, vizuelizacije i filma čestični sistemi se simuliraju u programima u kojima se radi modelovanje i animacija. Gotovo svi aktuelni softveri za vizuelizaciju imaju opciju za kreiranje čestičnih sistema. Najpopularniji su *Java 3D*, *Autodesk 3ds Max*, *Autodesk Maya*, *Autodesk Inferno*, *Maxon Cinema 4D*, *Blender* i dr. Postoje i *plug-in*-ovi (podprogrami) za simulaciju čestičnih sistema koji rade u pomenutim programima, a koji intuitivnije, lakše i sa više automatizma generišu specifične efekte (samo fluide, samo oblake, samo vatra i sl.). Neki od njih su *Next Limit Technologies – X Flow*, *RealFlow*, *Sitni Sati – AfterBurn*, *FumeFX*, *Thinkbox – Krakatoa*, *Cebas – Final Render*, *Thinking Particles* i dr.

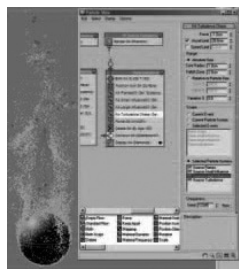
4. KORIŠĆENJE ČESTIČNIH SISTEMA U DIPLOMSKIM-MASTER RADOVIMA NA FAKULTETU TEHNIČKIH NAUKA U NOVOM SADU

Ovim radom su obuhvaćena 3 diplomska-master rada studenata iz oblasti računarske grafike na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu u kojima su korišćeni čestični sistemi. Jedan od njih obuhvata simulaciju efekta vatre, leda i vazdušnih mehurova u vodi, drugi uključuje efekte loma i eksplozije, a treći efekat avionskog traga.

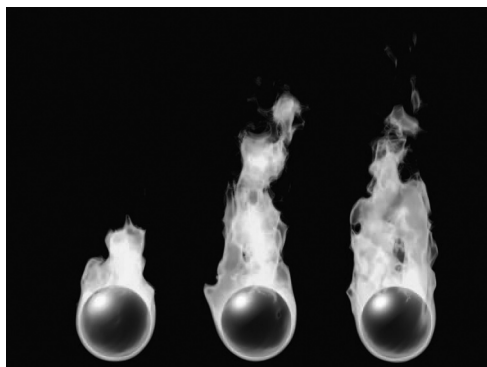
Prvi rad između ostalog obuhvata simulaciju tri pojave (Vukmirović i Obradović, 2010), od kojih je jedna vatrena kugla. Analiziran je način na koji bi vatra trebalo da se prikaže. Odbran je primer vatre koja nastaje kao posledica gorenja prirodnog gasa. Ovakav vid je izabran iz razloga što nije potrebno prikazati efekat dima kao u slučajevima sagorevanja fluida ili čvrstih zapaljivih materijala. Boje koje su poželjne za prikaz ovakvog sagorevanja su žuto-narandžasta i bela boja pri površini kugle. Sile koje deluju na plamen su usmerene ka gore, ali takođe postoji komponenta turbulencije koja prouzrokuje treperenje plamena. U suprotnom bi se dobio efekat monotonog toka poput slivanja vode u pravcu suprotnom od sile teže. Rezultat je dobijen uz pomoć softvera *3ds Max*, bez korišćenja dodatnih *plug-in*-ova.

Čestice se emituju sa spoljne površine kugle kako bi se postigao efekat da je cela kugla u plamenu. Na površini kugle je postavljen odbijač (*Deflector*), da bi sprečio prolazak čestica kroz kuglu. Broj čestica koji je upotrebljen za simulaciju vatre je 60.000. Definisane su sile koje usmeravaju čestice ka gore i sile koje usmeravaju njihovo kretanje oko kugle, kako bi putanja čestica bila spiralnog oblika. Dodatno je definisana sila koja čestice udaljava od kugle i koja se smenjuje u vremenskim intervalima sa silom koja čestice privlači ka kugli, što daje utisak njihovog turbulentnog kretanja (Slika 5). Ovim intervalima je upravljano kroz ključne frejmove animacije (*Key frames*). Čestice su prikazane (renderovane) kao sfere koje se prepliću i objedinjuju u formu fluida (*Blobmesh*). Za specifikovanje boje čestica korišćena je opcija za definisanje materijala. Upotrebljen je specijalni materijal za prikaz vatre

u *3ds Max*-u, gde je definisan opseg boja od bele do narandžaste. Rezultat je animacija u kojoj se stvara realistična simulacija kugle u plamenu (Slika 6).



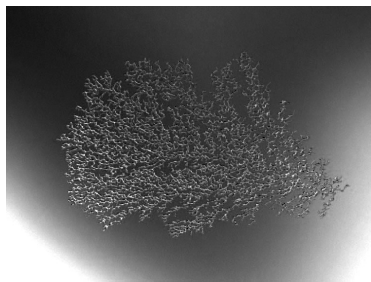
Slika 5. Čestice u prozoru programa *3ds Max* pre render-ovanja



Slika 6. Konačan rezultat vatrene kugle

U istom radu je prikazana simulacija stvaranja leda na staklu. Postavljen je sistem koji detektuje sudare između čestica i gradi konačnu formaciju lepeći jednu česticu za drugu. Ovakav efekat postignut je u dvodimenzionalnom sistemu sa česticama koje se ponašaju kao fraktali. Odabran je pristup sa dinamičkim sistemom iako bi se isti rezultat mogao postići i sa statičkim čestičnim sistemom.

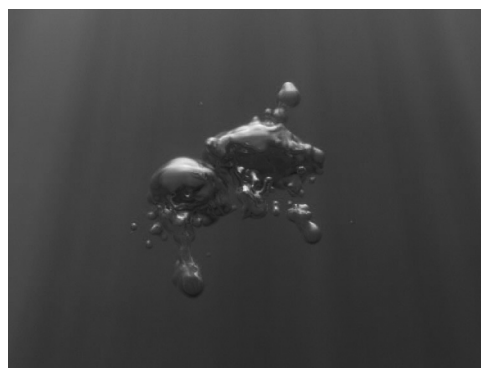
Upotrebljeni broj čestica je 5.000. Emiter čestica postavljen je na određenoj visini, a sile koje utiču na njih su gravitaciona i turbulentna sila. Postavljen je i odbijač (*Deflector*) koji sprečava prolazanje čestica kroz ravan stakla. Definisana je i sila vetra koja raznosi čestice po površini stakla. Upotrebljen je pomoćni čestični sistem koji emituje jednu česticu sa kojom se sudaraju čestice primarnog sistema i započinje efekat agregacije. U fazi renderovanja su sve čestice, kao i u prethodnom slučaju, prikazane kao jedinstvena fluidna struktura (*Blobmesh*) sa svojstvima refleksije i prozirnosti, uz primenu odgovarajućih materijala. Rezultat je realističan prikaz formiranja leda na staklu (Slika 7).



Slika 7. Efekat stvaranja leda na staklu

Treći deo rada simulira vazdušni mehur u vodi. Prvo je analizirana pojava u prirodi. Vazdušni mehur je sfernog oblika sa glatkom i zaobljenom gornjom površinom, a donjom površinom nepravilnog oblika. Mehur koji se penje ka površini nailazi na uzburkanu vodu i deli se sa donje strane na manje mehurove, dok mu struktura sa gornje strane ostaje nepromenjena. Brzina manjih mehurova je veća, ali i sile kretanja vode imaju veće dejstvo na njih što uslovljava njihovo brže i turbulentnije kretanje. Mehur ima reflektujuću površinu i svojom gornjom površinom prelama svetlost sa površine vode, dok mu je donja polovina tamnije boje.

Emiter je postavljen na izvesnoj dubini. Na čestice deluje sila potiska i turbulentna sila. Dužina emitovanja čestica je kratka kako bi se prikazao određen broj mehurova. Na početku mehur čini samo jedna čestica koja definiše njegov osnovni oblik, koji se ne menja tokom vremena. Za vreme putovanja osnovne čestice, zadaju se parametri da se iz nje stvaraju dodatne čestice čija zapremina varira i zavisi od zapremine osnovne čestice. Prilikom kretanja, dodatne čestice se sa donje strane odvajaju od osnovne čestice i stvaraju zasebne mehuriće. Standardno je za prikaz fluida upotrebljen *Blobmesh*, koji prirodno simulira efekat deformacije i razdvajanja pri razilaženju čestica. Primenjen je i materijal sa svojstvima refleksije i refrakcije. Da bi se prikaz upotpunio, definisana je pozadina plave boje sa efektima dubine i osvetljenja. Rezultat je realistična animacija vazdušnog mehura u vodi (Slika 8).



Slika 8. Efekat vazdušnih mehurova u vodi

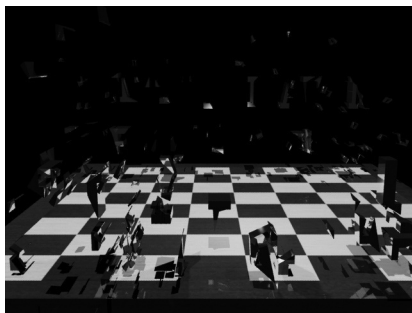
Drugi diplomski-master rad se bavi animacijom šahovske igre (Stanić i Obradović, 2010). U delu rada predstavljena je animacija čestičnih sistema. Program u kojem je urađena animacija je *3ds Max*, a korišćen je i dodatni napredni čestični *plug-in AfterBurn*, pogodan za realistično generisanje vatre, dima, oblaka, gasova sl.

U prvom delu rada simuliran je efekat loma u *3ds Max* osnovnom programu, bez korišćenja *plug-in*-a. Predstavljen je efekat raspada trodimenzionalnog naslova scene (Slika 9). Posebna pažnja poklonjena je gravitacionoj sili i sprečavanju kolizije sa horizontalnom ravni na kojoj se nalaze figure (šahovska tabla). Slova se uz pomoć posebnog alata za kreiranje čestica (*PArray*) dekonstruišu i šalju u svim pravcima. Na taj način slova su emiter čestica, a njihova zapremina i oblik određuju uslovljenost između veličine i broja čestica koje se emituju. Gravitaciona sila privlači čestice prema dole. Po površini

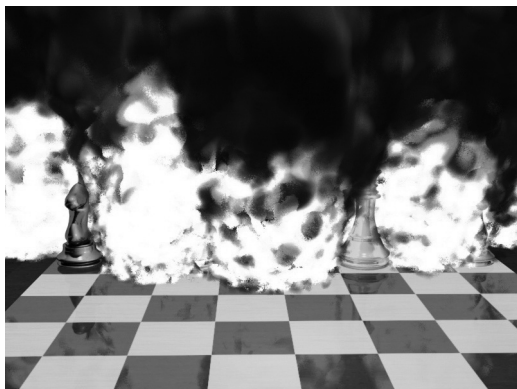
šahovske table postavljen je odbijač (*Deflector*) koji sprečava čestice da pri padu prolaze kroz nju. Životni vek ovih čestica je podešen da bude relativno dug.

Drugi deo animacije od značaja urađen je uz pomoć *plug-in-a AfterBurn* i obuhvata eksploziju figura. Najpre je korišćen ugrađeni čestični sistem (u ovom slučaju za proizvodnju snega) za definisanje okvira i izvora eksplozije, a zatim je on modifikovan i poboljšan samim *plug-in-om* u cilju proizvodnje realističnog efekta eksplozije. Neki od parametara koje *AfterBurn* podrazumeva su boja, oblik, ponašanje eksplozije, osenčenje i sl.

Rezultat su dve scene sa početka i kraja animacije koje na realističan način prikazuju efekat loma i efekat eksplozije (Slika 10).



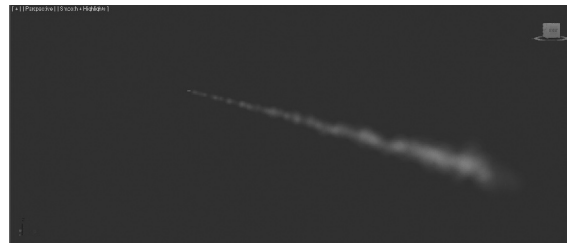
Slika 9. Efekat loma slova na sceni



Slika 10. Eksplozija šahovskih figura

Treći diplomski-master rad obuhvata animaciju aviona za trke *Red Bull Air Race*, a u okruženju modifikovanog segmenta Novog Sada, na Dunavu u blizini mosta Slobode (Grba i Obradović, 2010). Za deo rada koji se bavi čestičnim sistemima korišćen je osnovni *3ds Max* program.

Da bi se realistično prikazao avion u letu, potrebno je bilo prikazati i dim koji se ispušta iz auspuha aviona i ostavlja trag duž putanje kojom se avion kretao. Emiter je u ovom slučaju pokretan i njegov položaj je promenljiv u zavisnosti od prethodno definisane putanje aviona. Čestice su definisane u broju, obliku i brzini ispuštanja, koji na odgovarajući način vizuelizuju dim. Vreme trajanja čestica je prilagođeno tako da se trag polako gubi na mestima gde je avion prošao ranije. Anuliran je efekat gravitacione sile, kako nalaže prirodno ponašanje avionskog traga (Slika 11). Rezultat je dinamičan prikaz aviona u letu iz pogleda posmatrača sa zemlje i iz vazduha (Slika 12), koji je upotpunjen upotrebom čestičnog sistema za adekvatnu svrhu prikaza avionskog traga.



Slika 11. Avionski trag u prozoru programa *3ds Max*



Slika 12. Avionski trag u konačnoj animaciji

5. ANALIZA RADOVA

Za konačan izgled radova zaslužno je posmatranje pojava, znanje iz programa u kojem je moguća simulacija i poznavanje rada čestičnih sistema.

Tabela pokazuje različite parametre koje treba podesiti u svrhu simulacije većeg broja fenomena. Od ukupno šest fenomena najveće znanje potrebno je za simulaciju eksplozije, ali iz tog razloga se pristupilo radu sa *plug-in* programom. Za sve ostale simulacije bilo je dovoljno raditi u jednom kompjuterskom programu. Program u kojem su rađene animacije, *Autodesk 3ds Max*, radi se na nekoliko predmeta, na različitim smerovima na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, kao na primer na smeru za Inženjersku animaciju i na smeru Arhitektura i urbanizam. Dodatni rad koji je potreban za obučavanje u svrhu poznavanje osnovnog rada sa čestičnim sistemima u pomenutim radovima iznosio je prosečno 2 časa po jednoj simulaciji kako bi se došlo do prihvatljivog rezultata, koji se potom usavršavao. Sva tri studenta koji su radove radili, slušali su jednosemestralni predmet u kojem su imali praktične vežbe iz progama *3ds Max*. Nakon završenih vežbi, u saradnji sa svojim mentorom su upotpunili svoje znanje iz programa i odlučili se za dodatnu obuku iz čestičnih sistema. Važni koraci u svrhu dobijanja rezultata bili su poznavanje alata koji u pomenutom softveru kreiraju čestične sisteme, ali i poznavanje rada istih na osnovu 4 elementa koji se ispituju u radu.

Ovi radovi pokazuju kako se nakon jednog semestra obuke u osnovnom programu i više sati rada pod mentorstvom uspešno mogu savladati osnove rada sa čestičnim sistemima od strane studenata koji se bave 3d grafikom. Ukupno vreme obuke za dobijene rezultate moglo bi se izvršiti u okviru 2 jednosemestralna predmeta (ukoliko studenti pre toga nisu radili u pomenutom softveru) sa bar 3 časa vežbi nedeljno.

Korišćene simulacije su sledeće:

Emiter	Sile	Vreme	Render-ovanje	Rezultat	
1a	miruje i generiše čestice oko svoje površine koja je sfernog oblika	jedna deluje usmereno, suprotno od gravitacione sile, a druga proizvoljno, radi turbulencije	ograničeno	čestice su sferne, sitne sa definisanom bojom koja se kreće od bele do žuto-narandžaste boje i ujedinjene u zajedničku strukturu	vatrena kugla
1b	miruje i generiše čestice u svim pravcima, ali neravnomerno	usmerene su od emitera u svim pravcima jedne ravni	neograničeno	čestice su prikazane sa belim materijalom kome je dodata osobina prozirnosti i refleksije, potom su ujedinjene u zajedničku strukturu	led na staklu
1c	kreće se prema gore, emituje čestice neravnomerno i različitih veličina	turbulentna je i čestice usmerava oko emitora	neograničeno	u zajedničkoj strukturi česticama je data prozirnost i refleksija	vazdušni mehur u vodi
2a	emiter je površina 3d slova i statičan je, a čestice se emituju u svim pravcima	gravitaciona je, kako bi se čestice spustile na tlo	neograničeno	koristi se isti material kao i material figure, oblik čestica simulra oblik slomljenog stakla	lomljenje modela
2b	emiter je površina figura i statičan je, nakon izvesnog vremena novi emiteri na pozicijama čestica ponovo počinju emitovanje	sile usmeravaju čestice ka turbulentnom kretanju	ograničeno	material se menja prilikom kretanja čestica od bele boje, preko žute za vatru do crne za dim u zavisnosti od rastojanja od emitera	eksplozija
3a	kreće se predefini-sanom putanjom vezanom za objekat i ispušta čestice u jednom pravcu	deluje slaba gravitaciona sila radi realističnosti	ograničeno	koristi se sivi material koji objedinjuje sve čestice i ima odgovarajuću transparentnost	dim iz aviona

6. ZAKLJUČAK

Čestični sistemi su jedna od važnih tehnika kompjuterske animacije poslednjih trideset godina. Uz pomoć njih se efektno prikazuju komplikovane, *fuzzy* pojave iz prirode na realističan način. Zahvaljujući njihovoj dinamičnosti, fluidnosti i sporadičnosti, animacija dobija dodatnu dimenziju obogaćenu životom. Korišćenje čestičnih sistema sve je zastupljenije u različitim segmentima vizuelizacije. Poznavanje rada sa njima je iz tih razloga poželjno i neophodno za sve profesionalce u oblasti vizuelizacije i animacije.

Studenti koji su u svojim diplomskim-master radovima koristili čestične sisteme na Fakultetu tehničkih nauka su prvi koji su upotreбили ovu tehniku vizuelizacije na ovom Fakultetu. Pokazano je da se efektni rezultati mogu dobiti pažljivom analizom pojave koja se želi predstaviti, poznavanjem načina funkcionisanja čestičnih sistema i poznavanjem programa u kojima je moguća njihova simulacija. Sva tri rada simuliraju različite pojave koje zajedno čine skup uz pomoć koga je moguća realistična animacija veoma raznovrsnih scena bogatih efektima.

Može se zaključiti da je na osnovu ispitana 3 diplomska rada koji se bave čestičnim sistemima, moguće obučiti studente radu sa ovim sistemima u okviru jednog semestra sa laboratorijskim vežbama, ukoliko su pre toga imali obuku iz osnovnog programa (u posmatranom slučaju, to je bio *3ds Max*).

REFERENCE

[1] Grba, V., Obradović, R. (2010) *Simulacija RED BULL trke aviona EXTRA EA-330*, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 13/2010., str. 2708-2710, ISSN 0350-428X.

[2] Müller, M., Charypar, D. i Gross, M. (2003) Particle-Based Fluid Simulation for Interactive Applications, ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation, pages 154-159, Aire-la-Ville, Switzerland, Eurographics Association.

[3] O'Bryan, S. i Karavasileiadis, C. (2009) Modeling Particle Systems in Java 3D, rucsdigitaleprojektbibliotek.dk (preuzeto 24. 03. 2012.)

[4] Parent, R. (2000) Computer Animation: Algorithms and Techniques - a Historical Review, *Computer Animation 2000*. Proceedings: 86 - 90

[5] Parent, R. (2002) *Computer Animation: Algorithms and Techniques*, Morgan Kaufmann.

[6] Pfaff, T., Thuerey N., Cohen J., Tariq S. i Gross M. (2010) Scalable Fluid Simulation using Anisotropic Turbulence Particles, *ACM Trans. Graph.* 29 (6): 174: 1-8

[7] Reeves, W. T. (1983) *Particle systems - A technique for modeling a class of fuzzy objects*. Proc. of SIGGRAPH '83, Detroit, Michigan.

[8] Reeves, W. T. i Blau R. (1985) *Approximate and probabilistic algorithms for shading and rendering structured Particle systems*, Proc. of SIGGRAPH '85, San Francisco, California

[9] Sims, K. (1990) *Particle Animation and Rendering Using Data Parallel Computation*, Proc. of SIGGRAPH '90, Dallas, Texas, 405-413.

[10] Stanić, A., Obradović, R. (2010) 3D animacija šahovske partije, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 13/2010., str. 2704-2707, ISSN 0350-428X.

[11] Vukmirović, O., Obradović, R. (2010) *Korišćenje čestica (Particles) u izradi kompjuterske animacije*, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 13/2010., str. 2711-2713, ISSN 0350-428X.



Marko Lazić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
 arhitektura@live.com
 Oblast interesovanja: arhitektura i urbanizam, modelovanje i vizuelizacija



Ana Perišić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
 arhitektum@windowslive.com
 Oblast interesovanja: animacija, arhitektura i urbanizam, vizuelizacija u dizajnu



Miloš Beočanin, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
 mbeocanin@gmail.com
 Oblast interesovanja: softversko inženjerstvo, računarska grafika i simulacija, računarske igre, veštačka inteligencija