

Analiza zauzeća memorije različitih reprezentacija višeslojnog terena

U ovom istraživanju je vršeno ispitivanje zauzeća prostora različitih reprezentacija terena sa ciljem renderovanja u realnom vremenu. Upotrebene su dve reprezentacije: Octree i višeslojna visinska matrica. Pokazano je da Octree zahteva da se više verteksa pošalje grafičkoj procesorskoj jedinici (GPU) kao i da se više troglova iscrtava. Pored toga, pokazano je i zauzeće memorije koje zahteva Octree za različite ulazne parametre terena koji je generisan Perlinovom bukom i primenom erozije kako bi se stvorile šupljine unutar terena. Zaključeno je da je višeslojna visinska matrica manje prostorno zahtevna ako u terenu ima manje šupljina za određenu poziciju na mapi, dok je memorijski neefikasna ako za datu tačku na mapi postoji više šupljina, što znači da je potrebno više slojeva čuvati. U tom slučaju Octree pokazuje bolje rezultate.

Uvod

Generisanje terena ima primenu u video igrama i u simulacijama. Zbog ovoga je važno da se izgenerisani teren može smestiti u memoriju i da kretanje kroz teren bude realizovano u realnom vremenu. Do sada su rađeni mnogi načini generisanja i čuvanja terena. Kada nema pećina u terenu i kada je potrebno prikazivanje samo planina i dolina onda se obično koristi mapa gde svaka ćelija određuje visinu u toj tački (visinska matrica – heightmap) (Olsen 2004). Međutim, ovakva reprezentacija ne može da predstavi teren sa pećinama ili bilo kakvim šupljinama u planinama. Generisanje visinske matrice se vrši na

više načina. Jedan od njih je mid-point displacement (Olsen 2004) i Perlin noise (Perlin 2002). Druga reprezentacija terena jeste reprezentacija pomoću stabla gde svaki čvor ako nije list stabla, ima osmoro dece koji predstavljaju podeoke datog segmenta terena. U ovom radu je analizirano ponašanje različitih reprezentacija terena kada se teren izgeneriše Perlinovom bukom i upotrebom erozije kao morfološke transformacije.

Metode

Perlinova buka

Perlinova buka je iskorišćena za generisanje inicijalnog oblika terena bez pećina. Za svaku ćeliju u dvodimenzionalnoj matrici generiše se visina. Upotrebljena je poboljšana Perlinova buka koja je opisana u literaturi (Perlin 2002). Ovaj način generisanja inicijalnog reljefa je baziran na Tejlorovim redovima za vrednost funkcije u tački koja nam je potrebna odnosno:

$$n(x, y) = n(i, j) + (x - i) \frac{\partial n}{\partial x} + (y - j) \frac{\partial n}{\partial y}$$

Prvo se generiše matrica rešetaka (lattices) i svakoj tački u toj matrici se dodeljuje gradient vektor iz niza gradient vektora nasumičnim odabirom. Ovaj niz se sastoji iz sledećih gradient vektora:

$$\begin{aligned} &(1, 1, 0), (-1, 1, 0), (1, -1, 0), (-1, -1, 0), \\ &(1, 0, 1), (-1, 0, 1), (1, 0, -1), (-1, 0, -1), \\ &(0, 1, 1), (0, -1, 1), (0, 1, -1), (0, -1, -1) \end{aligned}$$

Matrica rešetaka se generiše po određenoj frekvenciji odnosno koliko rešetki se nalazi između 0 i 1 po obe ose.

Ako pretpostavimo da je ova funkcija kontinualna, mi je možemo uzorkovati na određenoj frekvenciji tako da vrednost u određenoj tački

Stefan Nožinić (1997), Šabac, učenik 4. razreda Tehničke škole u Šapcu

MENTOR: Vladimir Makarić, École normale supérieure de Lyon, Francuska

možemo izračunati po obrascu datom iznad. Vrednosti (i, j) su najbliže tačke u generisanoj matrici kojima smo dodelili gradient vektore. Pošto za svaku tačku imamo 4 gradient vektora (4 tačke su susedne) onda uradimo interpolaciju datih skalarnih proizvoda gradient vektora i vektora udaljenosti. Interpolacija koja je rađena je bilinearna interpolacija ali je moguće uraditi i mnogo kompleksnije interpolacije kako bi se dobili bolji vizuelni rezultati, ako je to cilj.

Vrednost u toj tački se potom množi sa amplitudom koja predstavlja maksimalnu visinu terena u nekoj tački.

Ovakav signal možemo generisati za različite frekvencije (broj rešetki u opsegu od 0 do 1) i svakom signalu dodeliti frekvenciju. Ove signale možemo sabrati i time dobiti kompleksnije signale. Naravno, potrebno je da budu uzorkovani sa istom frekvencijom.

Voksel reprezentacija terena

Da bi se mogla kasnije primeniti neka morfološka transformacija za generisanje šupljina na terenu, prvo je potrebno iz visinske matrice napraviti voksel reprezentaciju. Ova reprezentacija se sastoji iz 3D niza, gde je svaki element tipa boolean i sadrži informaciju da li na tom elementu u prostoru postoji teren ili ne postoji teren, odnosno može se posmatrati kao niz malih kocica koje zajedno čine teren. Pošto je visina kao vrednost iz visinske matrice generisanog Perlinovom bukom kontinualna vrednost, a za voksel reprezentaciju je potrebna diskretna vrednost i visine jer imamo konačan broj vokselu u nizu, potrebno je izvršiti kvantovanje visina na visinskoj matrici. Kada se izvrši kvantovanje visina, vrednost na poziciji (x, y, z) u 3D nizu se može postaviti na dve moguće vrednosti: prostor sadrži segment terena ili prostor ne sadrži segment terena. Određivanje koja se vrednost postavlja se vrši jednostavnim poređenjem z koordinate i kvantovane visine, odnosno:

$$z \leq \hat{h}(x, y)$$

Ako je uslov zadovoljan, onda se vrednost postavlja na pozitivnu (segment pripada terenu), u suprotnom se postavlja na negativnu (segment ne pripada terenu).

Primena morfološke erozije na voksel reprezentaciji

Kada se visinska matrica pretvori u voksel reprezentaciju, na datoj matrici se primenjuje erozija kako bi se napravile šupljine na terenu. Ovo se postiže iz tri dela:

1. Na nasumičnim mestima izmeniti voksele koji su puni i postaviti ih da budu prazni.

2. Od datog vokselu nasumično izabрати smer i sve voksele koji predstavljaju segment terena izmeniti da predstavljaju šupljinu u tom smeru počevši od datog vokselu, sve dok se ne naiđe na prazninu.

3. Primeniti morfološku eroziju (Serra 1982) na taj novi niz koja je analogna 2D morfološkoj eroziji koja se primenjuje u obradi slike.

Octree reprezentacija

Octree je stablo gde svaki čvor ima ili osmoro dece ili nema dece uopšte (list). Octree se generiše tako što se prostor podeli na 8 delova deljenjem prostora na 2 dela ravnima po sve tri ose. Ovo se radi rekurzivno sve dok u jednom trenutku sve ćelije u generisanoj osmini nisu ili teren ili prazan prostor. Ovim se postiže da delovi terena gde nema praznina zauzimaju manje memorijskog prostora, dok delovi sa više šupljina zauzimaju više memorijskog prostora. Problem kod ovakve reprezentacije jeste kasnije teško menjanje samog terena kao i nemogućnost jednostavnog definisanja normala na terenu što može predstavljati poteškoće prilikom implementacije osvetljenja kao i kretanja kroz teren.

Višeslojna visinska matrica

Ova reprezentacija se sastoji iz slojeva matrica gde svaka ćelija u svakom sloju ima dve vrednosti. Na kojoj visini počinje taj nivo terena i na kojoj se završava. Za ovakvu reprezentaciju je potrebno čuvati listu matrica sa elementima koji su uređeni parovi koji predstavljaju početke i krajeve nivoa.

Konverzija iz voksel reprezentacije u reprezentaciju pomoću višeslojnih visinskih matrica se radi tako što se izvrši iteracija kroz celi niz vokselu i na osnovu praznina između elemenata za istu vrednost (x, y) se dodaju novi nivoi.

Za razliku od Octree reprezentacije, ovakvu strukturu je lako menjati, lako se dodaju nivoi i menjaju postojeći.

Prilikom testiranja primećeno je da konverzija iz voksel reprezentacije u ovu reprezentaciju čini da se gubi kvalitet, jer ova reprezentacija omogućava visini da bude kontinualna vrednost (do granica preciznosti računara), koja izgubi to svojstvo prilikom konverzije u voksel reprezentaciju. Kako bi se lakše poredile reprezentacije, tokom testiranja je ova reprezentacija pravljen iz voksel reprezentacije, ali je implementirana i mogućnost da se generišu pećine direktno na ovoj reprezentaciji.

Prikazivanje terena uz pomoć grafičke procesorske jedinice

Kada se iz voksel reprezentacije izgenerišu Octree i lista visinskih matrica, obe reprezentacije je lako procesuirati i prikazati uz pomoć grafičke procesorske jedinice. Grafičkoj procesorskoj jedinici je dovoljno proslediti niz verteksa koji predstavljaju koordinate tačaka pojedinih trouglova za iscrtavanje i indekse verteksa na osnovu kojih grafička procesorska jedinica određuje raspored kako iscrtava trouglove.

Prikazivanje terena iz Octree reprezentacije

Octree reprezentacija se može prikazati tako što se izvrši prolazak kroz celo stablo gde svaki čvor sadrži svoje krajeve koje je lako dodeliti tokom kreiranja Octreea. Na osnovu toga, ako taj čvor nema decu, može se iscrtati kocka.

Prikazivanje višeslojne visinske matrice

Prikazivanje višeslojne visinske matrice se vrši tako što se svaki sloj procesuiraju posebno, odnosno za svaki sloj se vrši prikazivanje kao da je on samostalan jer slojevi ne zavise jedan od drugog. Kako svaki sloj u svakoj tački sadrži početak i kraj, moguće je prikazati jedan delić tako što se pošalju verteksi $top(x, y)$, $top(x+dx, y)$, $top(x, y + dy)$, $top(x + dx, y + dy)$, $bottom(x, y)$, $bottom(x + dx, y)$, $bottom(x, y + dy)$, $bottom(x + dx, y + dy)$.

Sa ovim verteksima je moguće prikazati gornji pravougaonik, donji pravougaonik i okolne stranice.

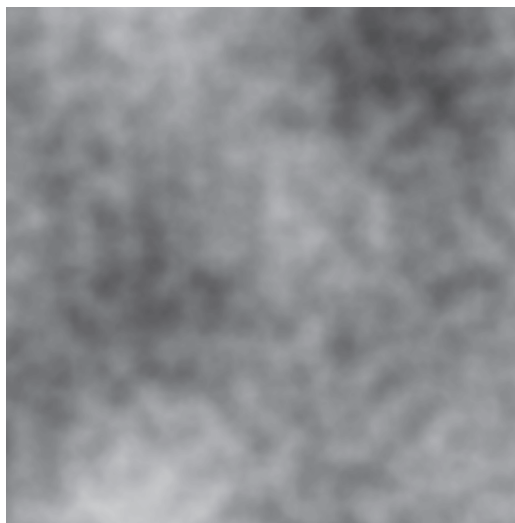
Ova operacija se ponavlja za svaki segment pojedine mape i za svaku mapu (sloj) i time dobijamo prikazan celokupni teren.

Implementacija osvetljenja i normala

Kako bi se bolje vizuelizovali rezultati i krajnji teren, implementiran je Fongov (Phong) model osvetljenja koji određuje boju verteksa na osnovu normale definisane na tom verteksu. Na trouglu grafička procesorska jedinica potom radi interpolaciju između tih verteksa.

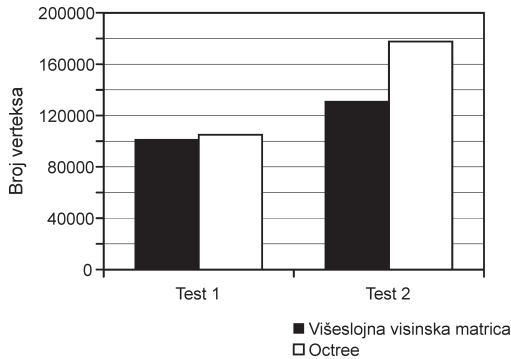
Rezultati i diskusija

Izvršeno je merenje potrebnih verteksa koji se šalju grafičkoj procesorskoj jedinici za svaku reprezentaciju za različite kombinacije frekvencija i amplituda za Perlinovu buku. Pored ovoga, izvršeno je prebrojavanje čvorova Octreea kako bi se procenilo zauzeće memorije, kao i broj nivoa visinske matrice.



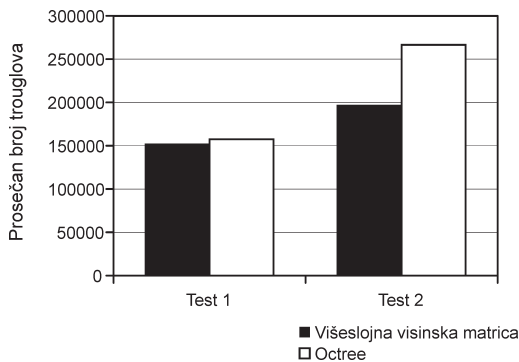
Slika 1. Primer signala koji nastaje Perlinovom bukom i koji predstavlja inicijalni reljef terena

Figure 1. Example Perlin noise representing initial terrain



Slika 2. Broj verteksa u zavisnosti od reprezentacije

Figure 2. Number of vertices for each representation



Slika 3. Broj trouglova u zavisnosti od reprezentacije

Figure 3. Number of triangles for each representation

Merenje se sastojalo iz dva test slučaja.

Prvi test slučaj sastoji se iz tri signala Perlinove buke:

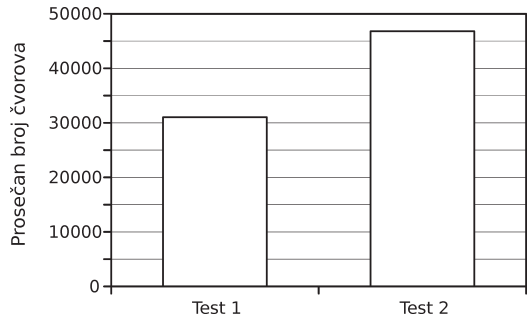
1. 2 promene, amplituda 0.8
2. 16 promena, amplituda 0.02
3. 32 promene, amplituda 0.01

Drugi test slučaj sastavljen je od dva signala:

1. 4 promene, amplituda 0.5
2. 16 promena, amplituda 0.01

Na slici 1 prikazan je primer signala koji nastaje Perlinovom bukom i koji predstavlja inicijalni reljef terena.

Posle generisanja Perlinove buke, radi se namumično odabiranje delova koji se uklanjaju sa terena i zatim se 10 puta primenjuje morfološka erozija sa veličinom operanda 3×3 .



Slika 4. Broj čvorova u Octree za oba test slučaja

Figure 4. Number of nodes in Octree for both cases

Na slikama 2 i 3 prikazani su izmereni podaci o verteksima koje generišu obe reprezentacije, kao i broju trouglova koji se iscrtavaju.

Iz datih podataka se vidi da je višeslojnoj visinskoj matrici potrebno manje verteksa i trouglova kako bi izgenerisala teren. Razlog za ovo jeste da za određenu tačku (x, y) Octree može generisati više kockica ako se između nalaze šupljine.

Na slici 4 se vidi koliko je čvorova potrebno Octreeu za oba test slučaja.

Zaključak

Octree zahteva više memorije kada je broj šupljina manji, dok višeslojna visinska matrica zahteva više memorije kada je broj šupljina veći, jer tada je potrebno više nivoa. Sa druge strane, višeslojna visinska matrica je jednostavnija za implementaciju kada je reč o Fongovom osvetljenju i primeni tekstura. Istraživanje se može unaprediti ispitivanjem drugih reprezentacija kao i optimizacijama ovde opisanih struktura. Na primer, Octree je moguće optimizovati tako što se posle generisanja stabla čuvaju samo listovi koji se kasnije obrađuju i prikazuju.

Literatura

Olsen J. 2004. Realtime procedural terrain generation. Department of Mathematics And Computer Science (IMADA), University of Southern Denmark. Dostupno na:

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.366.6507&rep=rep1&type=pdf>

Perlin K. 2002. Improving noise. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, **21** (3): 681.

Serra J. 1982. *Image Analysis and Mathematical Morphology*. Academic Press

Stefan Nožinić

Memory Usage Analysis of Different Multi-Layer Terrain Representations

This paper investigates memory usage when different representations are used to represent and render 3D terrain in real-time. The used representations are Octree and Multi-layer heightmap. Results show that Octree needs to send more vertices to the GPU, as well as render more triangles. Also, results show memory usage for different properties of the generated terrain through the use of Perlin noise and erosion to create caves. The Heightmap representation uses a smaller amount of memory if there is a small number of caves and holes. Octree is better for memory consumption if there are more caves. ☹