

# SIMULACE TEXTILU

## 1 Úvod

S rostoucím výkonem osobních počítačů rostou i nároky na realistický dojem z 3D grafiky, především v počítačových hrách. Součástí animací postav a prostředí se stává i animace textilních prvků, zejména oblečení. Zatímco animace pohybu postav, jejich končetin a některých objektů v prostředí lze připravit předem, realistické pohyby látky jsou příliš složité na to, aby se jejich animační data počítala předem a ukládala. Některé animace jsou navíc závislé na akcích uživatele nebo na dalších náhodných faktorech. Z těchto důvodů se používá simulace pohybu a deformace textilu v reálném čase.

V této práci se věnujeme simulaci chování obdélníkového kusu látky pod vlivem tíhového zrychlení v prostředí, kde existují další předměty - pro jednoduchost uvažujeme pouze koule a roviny. Výpočet provádíme pomocí knihovny v jazyce C a výsledky vykreslujeme s hardwarovou akcelerací pomocí technologie OpenGL.

## 2 Verletova integrace

Verletova integrace je numerická metoda, která se používá jako standardní způsob řešení Newtonových pohybových zákonů [1, 2]. Metoda počítá novou pozici hmotného bodu ze současné a předchozí pozice, aniž by používala vektor rychlosti. Tvar integračního kroku získáme z Taylorových rozvoji vektoru pozice  $\mathbf{x}(t)$  v předchozím a následujícím časovém kroku [2]:

$$\begin{aligned}\mathbf{x}(t + \Delta t) &= \mathbf{x}(t) + \mathbf{v}(t)\Delta t + \frac{\mathbf{a}(t)\Delta t^2}{2} + \frac{\mathbf{b}(t)\Delta t^3}{6} + \mathcal{O}(\Delta t^4) \\ \mathbf{x}(t - \Delta t) &= \mathbf{x}(t) - \mathbf{v}(t)\Delta t + \frac{\mathbf{a}(t)\Delta t^2}{2} - \frac{\mathbf{b}(t)\Delta t^3}{6} + \mathcal{O}(\Delta t^4)\end{aligned}$$

jejich sečtením získáme vztah pro následující pozici

$$\mathbf{x}(t + \Delta t) = 2\mathbf{x}(t) - \mathbf{x}(t - \Delta t) + \mathbf{a}(t)\Delta t^2 + \mathcal{O}(\Delta t^4)$$

S pomocí Verletovy metody simulujeme hmotné body látky pod vlivem tíhového zrychlení a jejich setrvačnost. V samotném výpočtu zavádíme ještě tlumící faktor  $d$ , který ovlivňuje

„lehkost“ látky (resp. mění odpor prostředí). Tak je možné simulovat různé druhy látky, jako hedvábí nebo silnou kůži. Použitý výpočetní krok má tedy tvar

$$\mathbf{x}(t + \Delta t) = \mathbf{x}(t) + d(\mathbf{x}(t) - \mathbf{x}(t - \Delta t)) + \mathbf{a}(t)\Delta t^2$$

Výpočet vždy probíhá tak, že se na všechny body aplikují všechny působící síly, poté se provede integrační krok a nakonec se aplikují všechna definovaná omezení (viz sekce 3 a 4). Integraci kvůli stabilitě výpočtu provádíme s pevným časovým krokem  $\Delta t$ , přestože jednotlivé cykly výpočtu neprobíhají ve stejných časových intervalech. Rozdíl není pro člověka postřehnutelný.

Protože simulaci provádíme pouze pro její vizuální efekt, neaplikují omezení na jednotlivé body sílu, ale přímo mění jejich pozici. Tím je celá simulace stabilnější (nedochází k nežádoucím oscilacím a chaotickému chování) v širším rozsahu hodnot parametrů, než při simulaci působení sil.

### 3 Struktura látky

Pro simulaci látky používáme standardní model [1] hmotných bodů a spojů. Simulovaný textilní obdélník je tvořen pravidelnou mřížkou hmotných bodů. Mezi nimi jsou definována omezení polohy, která udržují jejich vzájemnou vzdálenost konstantní. Jak bylo uvedeno v předchozí části, omezení nesimulujeme aplikací sil, ale úpravou polohy: spoje posouvají body na svých koncích blíž k sobě, nebo dál od sebe po přímce, kterou tyto body určují. Výsledkem je, že mají koncové body opět původní vzdálenost. Změna polohy spojů se navíc násobí koeficientem (v rozsahu  $\langle 0, 1 \rangle$ ), který určuje elasticitu spoje. Tím lze dosáhnout simulace různých druhů látky.

Spoje mezi body jsou rozděleny do tří skupin. První skupinu tvoří vodorovné a svislé spoje mezi sousedními body mřížky, které tvoří základní strukturu látky. Tuhost těchto spojů určuje míru, se kterou celý obdélník působením sil mění své rozměry. Pouze tato omezení ale nestačí k uvěřitelné simulaci látky. K tomu je třeba definovat druhou sadu omezení, která tvoří úhlopříčky jednotlivých buněk mřížky. Jejich tuhostí je možné ovlivnit odpor látky při zkosení, což mimo jiné brání protažení celého obdélníku do přímky. Třetí skupina omezení ovlivňuje tuhost látky v ohybu. V použité literatuře jsou tato omezení definována svisle a vodorovně mezi dvojicemi sudých a lichých bodů. V této práci používáme spojení ob dva body, které má jednak větší vliv na pevnost v ohybu a navíc se ukázalo, že vede k menší nestabilitě simulace.

Na jeden vnitřní bod mřížky tedy působí celkem dvanáct omezení. Ta se vyhodnocují postupně a nikdy tedy nedojde k úplnému splnění všech omezení. Přesto je při vhodně zvolených parametrech už po jednom průchodu celou sadou omezení simulace dostatečně realistická.

Jednotlivá omezení pracují v jistém smyslu proti sobě. Při určitých kombinacích parametrů tak výpočet ztrácí stabilitu, dochází k náhodným oscilacím a k chaotickému chování. Například nastavení velké tuhosti ve zkosení a nízké tuhosti v ohybu vede k náhodným oscilacím na hranách látky.

## 4 Externí omezení

Při simulaci látky ve scéně je podstatné nejen simulovat její strukturu, ale také její interakci s prostředím (například s tělem herní postavy, jejíž oblečení simulujeme). V této práci aproximujeme kolize s koulí a rovinou. Navíc přidáváme možnost přichytit některé body látky k jejich původní pozici.

Nejjednodušším omezením je „hřebík“. Toto omezení si při vytvoření zapamatuje původní polohu hmotného bodu a v každém cyklu simulace bod vrátí na tuto původní pozici.

Detekce kolizí s rovinou a koulí používá dvě zjednodušení:

- Kolize nejsou elastické. Body se od těles neodráží, simulace pouze nedovoluje jejich polohu uvnitř tělesa.
- Simulace neprovádí fyzikální výpočet tření. U koule se provádí zjednodušená aproximace tření, u roviny je výpočet zjednodušen natolik, že nedovoluje žádné smýkání bodů po povrchu.

Omezení rovinou jednoduše detekuje, v které polovině prostoru se body nachází. Protože se za rovinu body dostanou vždy v jediném kroku výpočtu, vrací omezení body, které rovinou pronikly, zpět do jejich předchozí polohy.

Omezení koulí měří, jestli je vzdálenost současné polohy bodu od středu koule nižší než její poloměr. V případě že ano, vypočítá průměty předchozí a současné polohy bodu na povrch koule a bod přesune na úsečku, kterou tyto průměty určují, lineárně podle koeficientu tření. Při nulovém tření se použije průmět předchozí polohy a koule se chová, jako by měla přitažlivost a v malé vzdálenosti nad povrchem k ní body přilnuly. Při tření rovném jedné se naopak chová jako

by po jejím povrchu body klouzaly. Výsledkem je výpočetně nenáročná a uvěřitelná simulace kolize s kulovou plochou.

Protože se omezení určující strukturu látky aplikují postupně od jednoho konce k druhému, je její chování lehce asymetrické. To se ve spojení s faktem, že se strukturní omezení aplikují jako poslední, po všech externích omezeních, projeví tak, že při pádu volné látky přes kouli nikdy nedojde k rovnováze a i při maximálním tření s koulí látka nakonec sklouzne ke straně. Vzhledem k tomu, že teoretickým konečným cílem výpočtu není simulovat volně umístěnou látku, ale například několikrát zmíněné oblečení postavy, nepovažujeme tento nedostatek za problém.

## 5 Závěr

V rámci práce vznikl funkční základ knihovny v jazyce C, který simuluje chování textilu v prostředí s tíhovým zrychlením a dvěma druhy externích omezení. Výsledný vizuální dojem simulace je i přes její celkovou jednoduchost velmi realistický.

Knihovnu by bylo možné dále rozšířit a mohla by sloužit jako základ 3D enginu s podporou fyzikální simulace. Jednoduchým rozšířením kulových omezení na elipsoidy by bylo možné poměrně věrně aproximovat tvar těla herní postavy a dosáhnout tak simulace oblečení. Strukturní omezení je navíc možné uplatnit nejen na plochou mřížku látky, ale i na složitější prostorové objekty. Ve spojení s výpočtem elastických kolizí by tak bylo možné rozšířit simulaci na libovolná pevná tělesa.

## Reference

- [1] Enqvist, H.: The Secrets Of Cloth Simulation in Alan Wake. 2010, dostupný z WWW:  
<[http://www.gamasutra.com/view/feature/4383/the\\_secrets\\_of\\_cloth\\_simulation\\_in\\_.php](http://www.gamasutra.com/view/feature/4383/the_secrets_of_cloth_simulation_in_.php)>.
- [2] Wikipedia: Verlet integration. 2010, dostupný z WWW:  
<[http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Verlet\\_integration&oldid=383250324](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Verlet_integration&oldid=383250324)>.