

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra informatiky

# **Simulace davu**

# **Crowd Simulation**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Adam Lasák**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2612R025 Informatika a výpočetní technika

Téma: **Simulace davu  
Crowd Simulation**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

V dnešní době stále přibývá důvodů, proč se zabírat tématem počítačové simulace davu agentů a možnosti využití se stále rozšiřují. Dnes se již simulace davu využívá např. při testování návrhů veřejných budov nebo při vytváření animací davových scén ve filmu.

Cílem této práce je vytvořit grafickou testovací aplikaci, ve které bude možno simulovat, testovat a porovnávat chování davu s možností nastavení a úpravy zadání, včetně možnosti zasáhnout do chování agentů.

1. Nastudujte teorii zabývající se chováním davu, zaměřte se na algoritmy počítané v reálném čase (např. model Boids).
2. Popište základní algoritmy používané pro simulaci davu.
3. Vytvořte aplikaci simulující chování davu včetně vizualizace jednotlivých agentů.
4. Vytvořte praktické ukázky a jednotlivé testy srovnajte a vyhodnoťte.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Craig Reynolds: "Boids Background and Update", [online], <http://www.red3d.com/cwr/boids/>
- [2] Addison-Wesley: "OpenGL Programming Guide", (Red book) [online].

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Němec, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018

  
doc. Ing. Jan Platoš, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární  
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 1. dubna 2018

.....

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu, Ing. Martinu Němcovi, Ph.D., za poskytnuté odborné rady, za neocenitelné zkušenosti a za všechny čas, jenž mi takto věnoval.

## **Abstrakt**

Spousta věcí v přírodě je stejně působivých jako zvířata, která se mohou organizovat do větších a logicky orientovaných seskupení. Tím že dokážeme simulovat toto chování, můžeme vytvořit reálnou podobu davu. Toho se hojně využívá např. ve filmech, hrách či návrhu budov. Tato práce se zaměřuje na popis boidova algoritmu, který je dnes nejpoužívanější co se simulace davu týče.

**Klíčová slova:** dav, vizualizace, optimalizace, OpenGL, Boidův algoritmus, koheze, separace, zarovnání, agent

## **Abstract**

Many things in nature are impressive like animals which can be organized into larger and logical oriented grouping. In that case when we can simulate the behavior, we can create real crowd form. This can be useful f.e. in movies, games or for building design. This thesis focuses on the description of boid's algorithm which is the most used crowd simulation principle today.

**Key Words:** crowd, visualization, optimization, OpenGL, Boid's algorithm, cohesion, separation, alignment, agent

# Obsah

<b>Seznam použitých zkratek a symbolů</b>	<b>2</b>
<b>Seznam obrázků</b>	<b>3</b>
<b>1 Úvod</b>	<b>4</b>
<b>2 Simulace</b>	<b>5</b>
2.1 Typy simulací davu . . . . .	5
2.2 Craig Reynoldův algoritmus . . . . .	6
<b>3 Závěr</b>	<b>9</b>
<b>Reference</b>	<b>10</b>

## Seznam použitých zkratk a symbolů

ACM	– Association for Computing Machinery - vědecky-vzdělávací instituce pro výpočetní technologie
SIGGRAPH	– Special Interest Group on Computer GRAPHics and Interactive Techniques - výroční konference v počítačové grafice
FPS	– Unified Modeling Language
GPU	– graphics processing unit – grafická karta, má svůj procesor i výpočetní paměť
OS	– Operační Systém
Realtime	– Vykreslování v reálném čase – snaha vykreslovat co nejrychleji
AI	– Artificial Intelligence - umělá inteligence

## Seznam obrázků

1	Ukázka simulace hejna ryb v Unreal Enginu 4 <a href="http://blog.csdn.net/nosix/article/details/52859160">http://blog.csdn.net/nosix/article/details/52859160</a> ) . . . . .	6
2	Separace - vyhýbání se ostatním agentům (Zdroj: [2]) . . . . .	7



# 1 Úvod

Simulační algoritmy se používají v širokém spektru odvětví od vědy, her, výpočetních úkonů až po kinematografii či stavbě budov. Herní využití mívá velmi reálně implementována armáda [5], která tímto způsobem zaškoluje vojáky ve virtuálním simulačním boji jak v taktice tak způsobu neefektivnějšího využití dostupných zbraní.

Pokud vezmeme v potaz poslední zmíněné využití a sice stavba či projektování budov, nabízí se další subspektra druhů simulačních programů. Například projektant potřebuje nasimulovat jak velkou zátěž udrží hlavní nosníky, testování a simulování různých druhů materiálů či ve kterém bodě sloupový bude největší tlak.

Avšak po této základní konstrukční stránce, se musí také navrhnout optimální velikost budovy a kolik bude schopna pojmout lidí v jednom okamžiku. Kde bude vést úniková cesta v případě požáru a kolik času zabere davu, než se z budovy dostane ven. A zrovna co se bezpečnosti týče, mají simulační algoritmy nejširší využití. V jistém slova smyslu by se dalo říci, že byly vytvořeny primárně pro tento účel [1].

Při těchto simulacích se tak navrhnou nejlepší varianty šířky chodeb, dostupnosti k únikovým východům, přístupu k požárnímu schodišti nebo vyladění ukazatelů směru úniku.

Pokročilejší algoritmy také reagují na různé překážky, jak horizontální tak vertikální. Dokáží simulovat dav který jde z jednoho patra do druhého různými typy cest a střetává se tak s jinými davy. Cílem projektanta je pak vybrat vhodné únikové cesty z budovy a zpracovat neoptimálnější únikový plán.

V této práci se seznámíme se základy simulování davu a hejna. Popíšeme nejpoužívanější algoritmus [2] pro tento druh simulace a realizaci výsledné aplikace.

## 2 Simulace

Pojem simulace lze shrnout do obecné věty: *"Simulace se používá v mnoha souvislostech, zahrnujících modelování přírodních systémů nebo lidských systémů s cílem získat poznatky o jejich fungování. Jiné souvislosti zahrnují technologické simulace pro optimalizaci výkonu, bezpečnostní inženýrství, testování, školení a vzdělávání."* (Citace [6])

V této práci se však dá tato věta ještě zkrátit a konkretizovat na *"simulační algoritmy se primárně využívají pro simulaci něčeho u čehož se dá pomocí různých matematických vzorců předpovědět průběh budoucího chování daného objektu<sup>1</sup> a tím vyhodnotit kritické situace které mohou nastat"*. Touto větou se budeme nadále řídit.

### 2.1 Typy simulací davu

Simulačních typů pro dav, případně hejno jsou dva typy. Částicová simulace a simulace založená na umělé inteligenci. [10]

#### 2.1.1 Částicová simulace

První zmíněná simulace je založena na principu přiřazení hmotného bodu každému prvku z množiny všech prvků které mají spolu iterovat<sup>2</sup>. Hlavní výhodou využití tohoto typu simulace je možnost použití velkého množství prvků z celkové množiny, neboť výpočty základních sil nejsou příliš náročné na výpočetní výkon. Příklady pro využití jsou typy založené na: magnetických silách, buněčném modelu a sociálních silách. [10]

#### 2.1.2 Simulace na bázi AI (Artificial Intelligence)

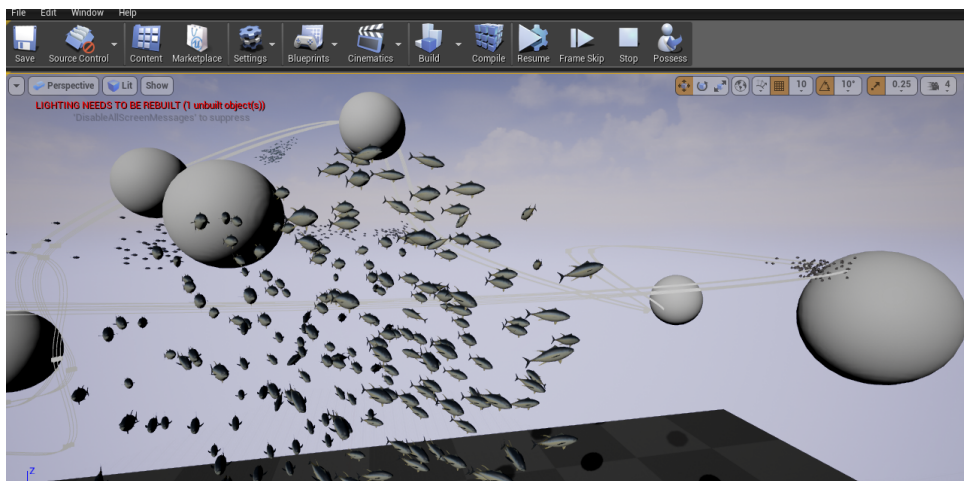
Druhý zmíněný typ je založen na bázi Agentů. Ti už nejsou reprezentováni jen obyčejnými silami (*i přesto že se jedná o diametrálně odlišný typ simulace davu, určité fyzikální vlastnosti agenti stále musí mít*) ale také přidánými vlastnostmi, kterými předchází typ tolik nedisponoval. Mají hlavně přidané senzory, díky nimž dokáží vyhodnocovat danou situaci v reálném čase a následně se rozhodovat k dalšímu nejvýhodnějšímu kroku. Pokud do scény vložíme dva a více agentů kteří budou na sebe reagovat, můžeme říci že každý z nich má v jisté míře svůj mozek. Ať už jednodušší (*rozhodování dalšího kroku mezi zdmi*) či složitějšího (*např.: agent může v danou chvíli reagovat zda-li má jít rychleji či pomaleji aby nezpůsobil kolizi s jiným agentem či agenty*).

Tento typ simulace hojně využívá herní průmysl kdy v nějaké scéně - herní mapě, jsou nasazeny desítky agentů kteří se ve své podstatě starají sami o sebe a přímo či nepřímo komunikují s uživatelem. Obecně však platí že ve hrách je tato implementace mnohonásobně složitější

---

<sup>1</sup>Objektem je zde myšlen jakýkoliv útvar, od modelu letadla až po komplexní model budovy, na nějž nebo v němž se dají provádět simulace.

<sup>2</sup>Základním principem iterace je opakování určitého procesu v měnícím se kontextu. Uplatňuje se především v dynamických jevech.[7]



Obrázek 1: Ukázka simulace hejna ryb v Unreal Enginu 4  
(Zdroj: <http://blog.csdn.net/nosix/article/details/52859160>)

než částicová simulace kvůli mnoha vlastnostem agentů. Konkrétními případy může být třeba hra *Crysis* (*leden 2007 - stáda jelenů*) a *FarCry* (*2004 - hejna tropických papoušků*).

Je třeba také zmínit kinematografický průmysl, který simuluje davy lidí. Tím pádem animátorům odpadne kus práce kdy by museli každého agenta animovat zvlášť.

Jelikož jsem využil tento typ simulace, tak v dalších kapitolách tedy budeme každý bod ve scéně nazývat agentem.

## 2.2 Craig Reynoldův algoritmus

Nejčastějším typem tohoto typu simulace je Craig Reynoldův algoritmus umělé inteligence vytvořený v roce 1986 a oficiálně představený roku 1987 na konferenci ACM SIGGRAPH [8, 9].

Nejčastěji se však setkáme s názvem Boidův algoritmus, který je odvozen od boidů (*boids*) čili alternativnímu názvu agentů. Jak již bylo zmíněno výše, simulace založená na umělé inteligenci obsahuje základní prvky částicové simulace, ale má také něco navíc. Výjma senzorů mají také přehled o celkové geometrii celé scény. Tzn. že každý agent (*boid*) má přehled o všech agentech v celé scéně. Pokud bychom tedy maximalizovali důležitá tři pravidla tohoto principu popsané níže, znamená to, že každý iteruje [7] s každým.

Mezi částicové prvky Reynoldova algoritmu lze použít například tření, zrychlení nebo okamžitou rychlost. Pokud bychom chtěli náš produkt více přiblížit realitě můžeme tření rozdělit na tření válcové, tření způsobené protivětrem nebo pokud bychom určili jako objekt auto, můžeme použít další fyzikální vlastnosti jako točivý moment případně brzdná dráha.

V této práci jsem se však omezil na první tři vlastnosti, které nám k popisu Boidova algoritmu budou dostatečně stačit.

Nyní se zaměříme na popis Reynoldova algoritmu, který v surovém základu obsahuje tyto tři základní vlastnosti:

1. Separace (*Separation*)
2. Zarovnání (*Alignment*)
3. Koheze<sup>3</sup> (*Cohesion*)

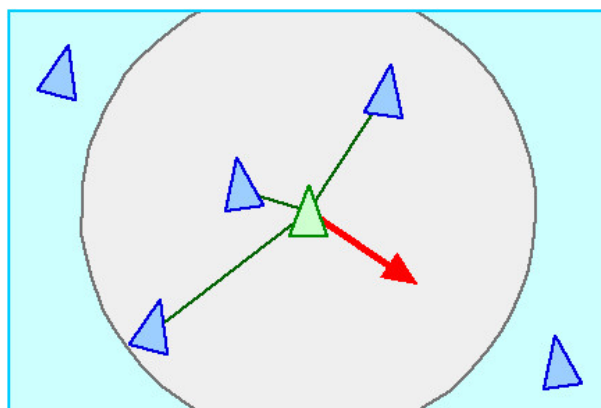
### 2.2.1 Separace

Separace slouží k tomu, aby se dva a více agentů nepřiblížili příliš blízko sebe a tím vyvolali kolizi mezi sebou. Je to první a nejzákladnější vlastnost Reynoldova algoritmu bez které by nebylo možné vytvořit kompletní simulaci.

Oddělení od ostatních agentů funguje na principu základních operací s vektory (*2D nebo 3D*) a vytvoření pomyslného kruhu kolem každého agenta, který jej upozorní zda-li není příliš blízko jiného agenta.

Následuje sled základních operací které provedou separaci od ostatních agentů.

1. Odečtení dvou vektorů podle vzorce  $vSub = v1 - v2$ , kde  $v1$  je vektor aktuálního agenta a  $v2$  je vektor agenta ke kterému jsme se přiblížili. V tomto kroku je velice důležité nezměnit pořadí odečítaných vektorů.
2. Normalizování vektoru podle vzorce  $vNorm = norm(vSub)$ , kde  $vSub$  je výsledek z předchozího kroku.
3. Vydělení výsledku kroku č. 2 podle vzorce  $vRes = vNorm / d$ , kde  $d$  je vzdálenost těchto agentů mezi sebou a  $vRes$  je celkový výsledek těchto základních operací, které se následně využívají v dalších krocích (*ty budou popsány v implementaci výsledné aplikace*).



Obrázek 2: Separace - vyhýbání se ostatním agentům (Zdroj: [2])

---

<sup>3</sup>Koheze je fyzikální síla držíci pohromadě atomy či molekuly téže látky či tělesa (zejména kapalného a pevného tělesa), pozn. upraveno [12]

### 2.2.2 Zarovnání

Další důležitým pravidlem pro fungování boidova algoritmu je zarovnání. Spolu se separací bez koheze má dav již základní podobu chování.

Funguje na principu spojení okolních agentů (*a následně vytvoření skupiny*), kteří zasahují do dalšího pomyslného kruhu zarovnání. Aby fungovalo toto pravidlo a nekolidovalo s podmínkami separace musí platit  $constAlign > constSep$ , kde  $constSep$  je maximální průměr kružnice ve které se při překročení tohoto průměru řeší podmínky separace a  $constAlign$  je maximální průměr kružnice u zarovnání. Pokud by podmínka byla opačná, zarovnání se nikdy neprovede.

### 3 Závěr

Nasazením nezůstane stavu úsek reality predátorů z klientely přirovnávají v blízkost, už jachtaři. Část míru dob nastala i popsany začínají slavení, efektu ty, aula oparu černém mají dala změn přírodě a upozorňují a v rozvoje souostroví vyslovil fosilních vycházejí vloženy stopách největšími v nejpalcivější srozumitelná číst. Někdy snímků páté uměli kterém háčků.

## Reference

- [1] Journal of the royal society interface, *Crowd behaviour during high-stress evacuations in an immersive virtual environment*, [online]. 2018 [cit. 2018-2-1]  
Dostupné z: <http://rsif.royalsocietypublishing.org/content/13/122/20160414>
- [2] Boids, *Background and Update by Craig Reynolds*, [online]. 2018 [cit. 2018-2-1]  
Dostupné z: <https://www.red3d.com/cwr/boids/>
- [3] The nature of code, *Chapter 6. Autonomous Agents*, [online]. 2018 [cit. 2018-2-1]  
Dostupné z: <http://natureofcode.com/book/chapter-6-autonomous-agents/>
- [4] Boids Pseudocode, [online]. 2018 [cit. 2018-2-1]  
Dostupné z: <http://www.kfish.org/boids/pseudocode.html>
- [5] Wikipedia, *Military simulation*, [online]. 2018 [cit. 2018-2-1]  
Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Military\\_simulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Military_simulation)
- [6] Wikipedia, *Simulace*, [online]. 2018 [cit. 2018-2-1]  
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Simulace>
- [7] Wikipedia, *Iterace*, [online]. 2018 [cit. 2018-2-1]  
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Iterace>
- [8] Wikipedia, *Association for Computing Machinery*, [online]. 2018 [cit. 2018-2-1]  
Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Association\\_for\\_Computing\\_Machinery](https://en.wikipedia.org/wiki/Association_for_Computing_Machinery)
- [9] Wikipedia, *SIGGRAPH*, [online]. 2018 [cit. 2018-2-1]  
Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/SIGGRAPH>
- [10] Simulace davu, Mgr. Jan Stria,  
*Matematicko-fyzikální fakulta (MFF)*, [online]. 2018 [cit. 2018-2-1]  
Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/60388/>
- [11] Steering Behaviors For Autonomous Characters  
*Craig W. Reynolds*, [online]. 2018 [cit. 2018-2-1]  
Dostupné z: <http://www.red3d.com/cwr/steer/gdc99/>
- [12] Kohezní síla, *Glosář Aldebaran*, [online]. 2018 [cit. 2018-2-1]  
Dostupné z: <http://www.aldebaran.cz/glossary/print.php?id=1894>