

PROJEKT: SMOKE DYNAMICS 3D

KOD KURSU: 120-ISI-1S-777

**PRZEDMIOT: SYMULACJA SYSTEMÓW DYSKRETNYCH
(SSD)**

Autorzy projektu

Radowski Barszczak

Michał Burda

Paweł Froń

Opiekun projektu

Dr hab. inż. JAROSŁAW WĄS prof. AGH

Dr inż. MARCIN PIEKARCZYK



EAIiB / Katedra Informatyki Stosowanej

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w
Krakowie

Kraków, Polska

5 listopada 2024 r.

Spis treści

1	Wprowadzenie	1
2	Przegląd wybranych publikacji	2
2.1	Stable Fluids	2
2.2	Smoke Simulation For Large Scale Phenomena	2
2.3	Real-Time 3D Fluid Simulation on GPU with Complex Obstacles	3
2.4	Numerical Study on Smoke Dispersion in Ship Engine Rooms	4
3	PODSUMOWANIE	6
	Bibliografia	7

1. Wprowadzenie

Modelowanie trójwymiarowego rozprzestrzeniania się dymu w zamkniętych pomieszczeniach jest istotnym narzędziem w analizie dynamiki dymu i projektowaniu systemów bezpieczeństwa. Takie symulacje pozwalają na realistyczne odwzorowanie zachowania dymu w przestrzeni, uwzględniając kluczowe czynniki, takie jak temperatura, kierunek ruchu powietrza oraz przeszkody architektoniczne. W kontekście projektowania systemów przeciwpożarowych i wentylacyjnych, modelowanie 3D umożliwia przewidywanie zachowania dymu podczas pożaru, co może pomóc w tworzeniu efektywnych planów ewakuacyjnych i optymalizacji rozwiązań technicznych.

Celem niniejszego projektu jest opracowanie trójwymiarowego modelu rozprzestrzeniania się dymu w pomieszczeniu, który będzie uwzględniał kluczowe czynniki fizyczne, takie jak temperatura i ruch powietrza. Projekt obejmuje zarówno opracowanie modelu teoretycznego, jak i stworzenie symulacji komputerowej w 3D, która pozwoli na wizualizację i analizę rozprzestrzeniania się dymu w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

2. Przegląd wybranych publikacji

2.1 Stable Fluids

W pracy [1] Jos Stam przedstawia model symulacji płynów oparty na równaniach Naviera-Stokesa, ze szczególnym uwzględnieniem symulacji gazów. Jak zauważa sam autor, zastosowana metoda rozwiązywania tych równań nie sprawdziłaby się w większości aplikacji inżynierskich, ponieważ tłumienie przepływu płynu następuje szybciej niż w rzeczywistych warunkach eksperymentalnych. Jednak w przypadku grafiki komputerowej takie zachowanie jest mniej problematyczne, zwłaszcza w symulacjach interaktywnych, gdzie użytkownik może ręcznie dodawać zewnętrzne siły, podtrzymując dynamiczny przepływ.

Główne metody: Równania Naviera-Stokesa

Wyniki: Autorowi udało się stworzyć realistyczne animacje gazów w dwóch i trzech wymiarach.

Referencja: Jos Stam, "Stable Fluids". Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 1999.

2.2 Smoke Simulation For Large Scale Phenomena

Nick Ramussen i inni w pracy [2] przedstawiają model realistycznej symulacji dymu na dużą skalę, na przykład wybuchu bomby jądrowej. Metoda opiera się na wygenerowaniu kilku dwuwymiarowych symulacji przy użyciu równań Eulera, które następnie posłużą do stworzenia trójwymiarowego pola poprzez interpolację. Ostateczny rezultat to liniowa kombinacja trójwymiarowego pola uzyskanego w opisany sposób oraz pola Kołmogorowa.

Podejście to umożliwia tworzenie realistycznych animacji wielkoskalowych zjawisk, przy jednoczesnym ograniczeniu zapotrzebowania na pamięć.



Rysunek 2.1: Symulacja wybuchu bomby jądrowej

Główne metody: Równania Naviera-Stokesa; generowanie pola trójwymiarowego poprzez interpolację kilku pól dwuwymiarowych

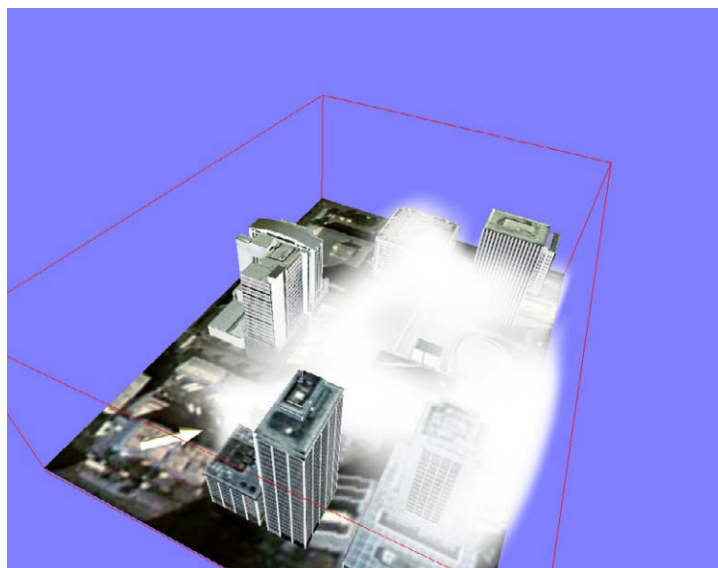
Wyniki: Wygenerowano animacje o wysokiej rozdzielczości korzystając ze stosunkowo niewielkiej ilości zasobów komputera.

Referencja: Nick Ramussen et. al. "Smoke Simulation For Large Scale Phenomena", SIGGRAPH '03: ACM SIGGRAPH 2003 Papers, 2003

2.3 Real-Time 3D Fluid Simulation on GPU with Complex Obstacles

Youquan Liu i Xuehui Liu w swojej pracy [3] przeprowadzili badania nad symulacją dynamiki płynów w czasie rzeczywistym, uwzględniając obecność złożonych przeszkód, przy użyciu procesora graficznego (GPU). Symulacja wykorzystuje równania Naviera-Stokesa oraz pół-Lagrangejski schemat obliczeń, co pozwala na realistyczne odwzorowanie przepływów gazu i cieczy w trójwymiarowej przestrzeni z przeszkodami. Badanie koncentrowało się na analizie wpływu złożonych warunków brzegowych na dokładność i wydajność symulacji, w tym sposobach redukcji liczby operacji przetwarzania.

Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że optymalizacja warunków brzegowych oraz zastosowanie tekstur 3D przyspiesza obliczenia, umożliwiając uzyskanie płynnych efektów wizualnych w czasie rzeczywistym. Autorzy sugerują, że wykorzystanie GPU do symulacji dynamiki płynów pozwala na efektywne odwzorowanie skomplikowanych



Rysunek 2.2: Rozprzestrzenianie się dymu w mieście

przepływów, takich jak dym lub woda, przy jednoczesnym utrzymaniu wysokiej wydajności obliczeniowej.

Główne metody: Symulacja dynamiki płynów złożonych na GPU z zastosowaniem równania Naviera-Stokesa oraz tekstur 3D do modelowania złożonych przeszkód.

Wyniki: Zoptymalizowana symulacja na GPU umożliwiła osiągnięcie efektów w czasie rzeczywistym przy scenach zawierających przeszkody, zwiększając wydajność obliczeń o 40

Referencja: Youquan Liu, Xuehui Liu. „Real-time 3D Fluid Simulation on GPU with Complex Obstacles”. Proceedings of the Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, 2004.

2.4 Numerical Study on Smoke Dispersion in Ship Engine Rooms

W artykule [4] autorzy dokonują analizy rozprzestrzeniania się dymu oraz rozkładu temperatury w maszynowni statku, wykorzystując zaawansowane symulacje w OpenFOAM. Badania koncentrują się na zrozumieniu, jak różne scenariusze pożarowe, w tym lokalizacja źródła ognia oraz układ wentylacji, wpływają na zachowanie dymu i ciepła w zamkniętych przestrzeniach. Celem jest zidentyfikowanie kluczowych czynników ryzyka, które mogą prowadzić do zagrożenia życia i zdrowia załogi oraz proponowanie skutecznych metod poprawy projektowania systemów wentylacyjnych, aby

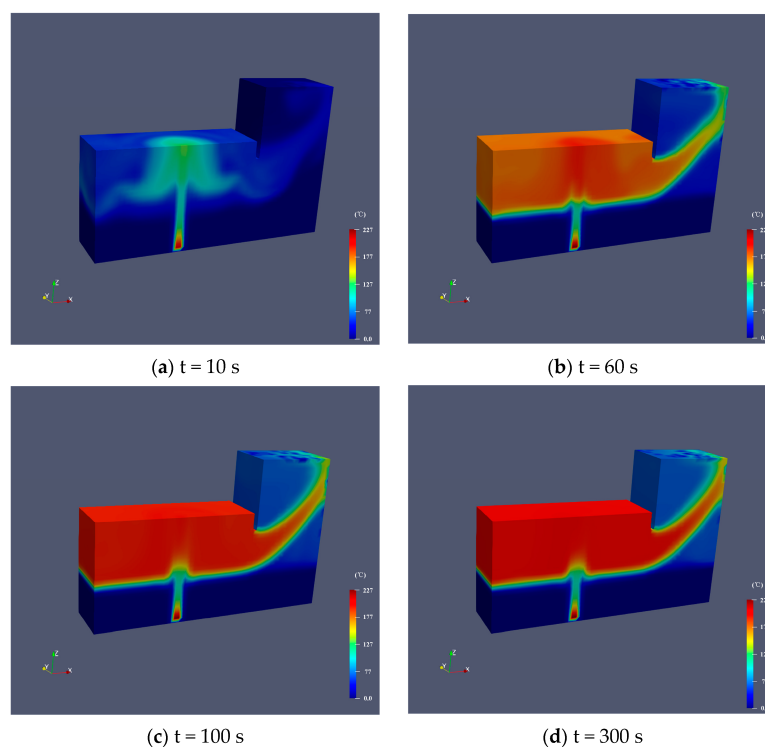
zwiększyć bezpieczeństwo w przypadku pożaru. Autorzy wskazują na znaczenie dokładnego modelowania procesów CFD w ocenie zagrożeń pożarowych, co ma istotne znaczenie w kontekście zarządzania kryzysowego na statkach oraz w innych zamkniętych przestrzeniach.

W badaniach opartych na OpenFOAM autorzy korzystają z równań Naviera-Stokesa, które opisują przepływ płynów, oraz równań kontynuacji do zachowania masy. W kontekście dyspersji dymu stosowane są również równania transportu dla substancji rozpuszczonych, które modelują zachowanie cząsteczek dymu w przepływie powietrza. Te podstawowe równania pozwalają na symulowanie złożonych interakcji między płynami i ciałami stałymi, co jest kluczowe dla oceny skutków pożaru w zamkniętych przestrzeniach.

Główne metody: Symulacje CFD w OpenFOAM, analiza wentylacji i warunków pożarowych.

Wyniki: Poprawa bezpieczeństwa dzięki optymalizacji systemów wentylacyjnych.

Referencja: „A Numerical Study on the Smoke Dispersion and Temperature Distribution of a Ship Engine Room Fire Based on OpenFOAM”. Sustainability, 2023.



Rysunek 2.3: Rozprzestrzenianie się dymu w maszynowni statku.

3. PODSUMOWANIE

Przegląd literatury dotyczącej symulacji dymu i dynamiki płynów ukazuje różnorodność metod w tej dziedzinie. Obejmuje on modele oparte na równaniach Naviera-Stokesa, które pozwalają na realistyczne animacje gazów, oraz innowacyjne podejścia do symulacji dymu na dużą skalę, wykorzystujące interpolację pól dwuwymiarowych oraz równania Eulera. Wykorzystanie GPU w symulacjach w czasie rzeczywistym, jak również badania dotyczące systemów wentylacyjnych w kontekście bezpieczeństwa w maszynowniach statków, podkreślają znaczenie dokładnych modeli dla projektowania systemów przeciwpożarowych i zarządzania kryzysowego.

Bibliografia

- [1] J. Stam, “Stable fluids,” in *Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, ser. SIGGRAPH ’99. USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1999, p. 121–128.
- [2] N. Rasmussen, D. Q. Nguyen, W. Geiger, and R. Fedkiw, “Smoke simulation for large scale phenomena,” in *ACM SIGGRAPH 2003 Papers*, ser. SIGGRAPH ’03. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2003, p. 703–707.
- [3] Y. Liu, X. Liu, and E. Wu, “Real-time 3d fluid simulation on gpu with complex obstacles,” in *12th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, 2004. PG 2004. Proceedings.*, 2004, pp. 247–256.
- [4] Y. Zhao, H. Zhao, Z. Miao, D. Ai, and Q. Wang, “A numerical study on the smoke dispersion and temperature distribution of a ship engine room fire based on open-foam,” *Sustainability*, vol. 15, no. 20, 2023.