

**MÔ PHỎNG SỰ CỐ TRÀN DẦU TRÊN BIỂN BẰNG PHƯƠNG PHÁP
CHIẾU RENDER TEXTURE LÊN MỘT BỀ MẶT****SIMULATION AN OIL SPILL AT SEA BASED ON RENDER TEXTURE
PROJECTION TECHNIQUE****ĐỖ VĂN CƯỜNG*, TRẦN GIA NINH***Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam***Email liên hệ: dovancuong@vamaru.edu.vn***Tóm tắt**

Trong bài báo này, chúng tôi đã sử dụng phương pháp lưới hình học để mô phỏng sóng biển và chiếu Render texture lên bề mặt sóng nhằm tạo ra hình ảnh vệt dầu loang trên bề mặt biển bằng phần mềm Unity3D. Đây là một phương pháp mới, hiệu năng của chương trình mô phỏng cao, không yêu cầu cấu hình máy tính cao và có thể mô phỏng diện tích của vệt dầu loang trên một phạm vi rộng, rất phù hợp cho việc tích hợp vào các chương trình mô phỏng để huấn luyện cho thuyền viên và sinh viên trên các buồng mô phỏng của trường Đại học và Cao đẳng chuyên ngành liên quan đến hàng hải và bảo vệ môi trường biển.

Từ khóa: *Render texture, Unity3D, tràn dầu, mô phỏng.*

Abstract

In this paper, we used the geometric method to render waves and projected the Render texture on the wave surface to simulate the oil film at sea by the Unity3D game engine. We provided a new method, very quickly, does not require high computer configuration and can simulate a large area of the oil spill over a wide range, very suitable for integration into the simulator system to educate and train crews and students in the simulators of Maritime Universities and Colleges which related the major in navigation and environmental protection.

Keywords: *Render texture, Unity3D, oil spill, simulation.*

1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh nền kinh tế toàn cầu phát triển một cách nhanh chóng, việc vận chuyển và khai thác dầu mỏ ngày càng gia tăng cả về số lượng và quy mô. Theo thống kê của Liên đoàn các chủ tàu chở dầu quốc tế (ITOPF) tính từ năm 1970 tới 2019 đã có 5.86 triệu tấn dầu bị tràn ra biển [1]. Hậu quả của những vụ tràn dầu xảy ra trên biển đối với chúng ta là vô cùng

ngghiêm trọng và khủng khiếp, do vậy việc xây dựng các chương trình mô phỏng ứng phó khẩn cấp các tình huống tràn dầu, nâng cao năng lực ứng phó khẩn cấp và giảm thiểu thiệt hại về người và tài sản trong quản lý an toàn là vô cùng quan trọng. Một chương trình mô phỏng sự cố tràn dầu có rất nhiều ưu điểm: (1) dễ dàng kiểm tra và dự đoán hướng di chuyển và diện tích của vệt dầu, có thể tùy ý thay đổi các điều kiện thời tiết và môi trường; (2) xác thực độ tin cậy của kế hoạch dự phòng trong ứng phó khẩn cấp; (3) chỉ ra những tồn tại và khiếm khuyết tiềm ẩn trong kế hoạch khẩn cấp để sửa đổi và cải thiện thêm; (4) không cần tốn kém nhiều chi phí để thực tập, diễn tập ngoài thực địa và không phụ thuộc vào các điều kiện thời tiết.

Việc xây dựng chương trình mô phỏng tràn dầu trên hệ thống 2 chiều đã được nhiều nhà khoa học quan tâm và thực hiện. Vũ Duy Vĩnh [2] đã sử dụng mô hình Delft3D để mô phỏng quá trình lan truyền dầu trên sông Bạch Đằng, tuy nhiên độ chính xác của mô hình phụ thuộc vào việc chia lưới và các dữ liệu hình học đầu vào như bản đồ địa hình, mực nước và thủy văn. Dư Văn Toán, Nguyễn Quốc Trinh [3] đã sử dụng mô hình số trị để mô phỏng một số kịch bản tràn dầu ở khu vực Đông Nam Bộ, điểm hạn chế của phương pháp là chỉ cung cấp các thông tin ngắn hạn (2, 3 ngày) khi có sự cố tràn dầu xảy ra. Trần Duy Kiều [4] sử dụng mô hình MIKE để xây dựng mô hình nguy cơ tràn dầu cho vùng biển Phú Quốc, cũng giống như mô hình của Vũ Duy Vĩnh, mô hình Mike cũng bị phụ thuộc vào tính chính xác của việc phân chia lưới và các dữ liệu địa hình. Nguyễn Quốc Trinh, Nguyễn Quang Vinh [5] sử dụng phương pháp mô phỏng tràn dầu ngược thời gian trên khu vực Biển Đông, tuy nhiên để kiểm chứng độ chính xác cần có các kết quả thực nghiệm để so sánh, hạn chế của mô hình là sự biến đổi của vệt dầu lớn và cần cải thiện độ chính xác định lượng. Hiện nay, để xây dựng một chương trình mô phỏng thực tế ảo VR (Virtual Reality) là một lĩnh vực mới ở trong nước và trên thế giới. Reed và cộng sự [6] đã sử dụng mô hình OSCAR cung cấp một công cụ để đánh giá định lượng, khách quan về các chiến lược ứng phó sự cố tràn dầu. Công ty TRANSAS đã sử dụng mô hình PISCES tích hợp trong hệ thống mô

phòng NTPRO5000 để mô phỏng quá trình ứng phó các sự cố tràn dầu 3D trong khu vực cảng và trên biển, mô hình này áp dụng phương pháp dán các Texture lên bề mặt biển sau đó dùng Shader để tạo ra các hiệu ứng chuyển động của dầu. Lehr [7] và cộng sự đã sử dụng mô hình GULKSLIK để mô phỏng các tình huống tràn dầu ngoài khơi vịnh Ả rập, điểm hạn chế của phương pháp là vẫn chưa dự đoán được sự thay đổi của tỷ trọng dầu trong quá trình mô phỏng mà thay bằng các dữ liệu thực nghiệm.

Trong lĩnh vực đồ họa máy tính, để mô phỏng chất lỏng chúng ta có thể chia ra làm hai phương pháp: phương pháp hình học và phương pháp vật lý. Phương pháp hình học dựa trên việc chia vật thể thành các lưới hình học (tam giác, tứ giác), sau đó sẽ kết xuất hình dạng của chất lỏng ra màn hình. Ưu điểm của phương pháp này là đơn giản, nhanh chóng, không cần đòi hỏi cấu hình phần cứng máy tính cao. Phương pháp vật lý dựa vào các phương trình tính toán đối với chất lỏng không nén được để giải quyết bài toán tính chuyển động các phần tử của chất lỏng, điển hình là dựa vào phương trình Navier-Stokes. Tuy nhiên phương pháp này sẽ làm chậm chương trình mô phỏng nếu số lượng phần tử chất lỏng lớn và yêu cầu cao hơn về cấu hình phần cứng máy tính. Trong phạm vi bài báo này, chúng tôi sẽ sử dụng phương pháp hình học để thể hiện hình dạng của vệt dầu, sau đó dùng công nghệ chiếu Render Texture của Unity3D để mô phỏng hình ảnh vệt dầu trên mặt biển. Phương pháp này cho hiệu quả cao, thỏa mãn yếu tố thời gian thực (Real-time), có thể mô phỏng lượng dầu tràn trên diện tích lớn và thể hiện được quá trình phân tách màng dầu thành những vệt dầu nhỏ hơn, điều mà các nghiên cứu trước đây chưa thực hiện được hoặc ở mức độ đơn giản hơn.

2. Mô hình toán học quá trình dầu tràn

Về mặt toán học, sau khi dầu tràn ra biển nó sẽ trải qua các quá trình lan rộng, trôi dạt, và sau một vài ngày sẽ là quá trình phong hóa. Quá trình phong hóa có tính đến các quá trình bay hơi và lắng đọng. Tuy nhiên, mô hình tràn dầu của chúng tôi được tích hợp trong hệ thống mô phỏng ứng phó khẩn cấp tràn dầu trên biển nên các hành động ứng phó sẽ ngay lập tức được triển khai, do đó sẽ không tính đến quá trình phong hóa mà chỉ tính đến hai quá trình: lan rộng và trôi dạt. Ở giai đoạn đầu, chúng tôi sử dụng quan điểm của Lehr [8] để tính toán hình dạng và diện tích của màng dầu, vệt dầu dưới tác động của gió sẽ lan rộng dưới dạng hình elip. Quá trình trôi dạt dưới tác động của gió sẽ được tính đến để dự đoán hướng di chuyển của màng dầu trên biển.

2.1. Quá trình lan rộng

Màng dầu sẽ ngay lập tức lan rộng về diện tích khi nó bị tràn ra trên mặt nước. Theo thuyết cổ điển của Fay [9] thì sự lan tràn của màng dầu được mô tả dưới dạng hình tròn trên mặt nước yên tĩnh, tức là chưa xét tới ảnh hưởng của các điều kiện gió, thủy triều. Lehr, trong các nghiên cứu của mình đã tính đến yếu tố gió, dòng chảy và đã tính toán diện tích màng dầu dưới dạng hình elip với các bán trục lớn và bán trục nhỏ. Diện tích của màng dầu có thể được tính theo công thức sau:

$$A = (\pi/4)QR \quad (1)$$

Dựa trên thực nghiệm, bán trục lớn và bán trục nhỏ có thể được tính toán dựa vào thể tích, thời gian, mật độ chất lỏng, khi đó (1) có thể viết lại như sau:

$$A = 2270 \left[\frac{\Delta\rho}{\rho_0} \right]^{\frac{2}{3}} V^{\frac{2}{3}} t^{\frac{1}{2}} + 40 \left[\frac{\Delta\rho}{\rho_0} \right]^{\frac{1}{3}} V^{\frac{1}{3}} W^{\frac{4}{3}} t \quad (2)$$

$$A_{\max} = 10^5 V^{\frac{3}{4}} \quad (3)$$

Trong đó: A là diện tích màng dầu (m²); Amax là diện tích lớn nhất màng dầu (m²); V là thể tích dầu bị tràn (barrel); W là tốc độ gió (knot); t là thời gian (phút); ρ_0 là khối lượng riêng của dầu; $\Delta\rho$ là biến thiên khối lượng riêng nước biển - dầu; Q là bán trục nhỏ; R là bán trục lớn;

2.2. Quá trình trôi dạt và phân tách

Khi dầu bị tràn ra biển, quá trình lan rộng và trôi dạt sẽ diễn ra đồng thời. Các yếu tố chính ảnh hưởng đến tốc độ trôi dạt và độ chính xác của việc dự đoán đường đi của vệt dầu là gió, sóng và dòng chảy bề mặt. Ngoài ra, dưới tác động của các yếu tố này, màng dầu bị xé ra thành những mảnh nhỏ hơn. M.Fingas [10] trong các nghiên cứu của mình đã khẳng định nếu tràn dầu xảy ra ở khu vực cảng hoặc ven bờ và tốc độ gió không quá 10km/h thì gió sẽ ảnh hưởng khoảng 3% và dòng chảy là 100% tới tốc độ trôi dạt. Hình 1 thể hiện ảnh hưởng của gió và dòng chảy tới hướng trôi dạt của dầu. Chúng tôi đã phân chia màng dầu thành hàng ngàn hạt dầu nhỏ có kích thước tùy ý, sau đó sự dịch chuyển của màng dầu được tính toán dựa trên sự di chuyển của các hạt dầu đó. Vận tốc trôi dạt của hạt thứ i được tính theo công thức sau:

$$\frac{dX_i}{dt} = V_{drift}(x_i, y_i, t) + V_{diff}(x_i, y_i, t) \quad (4)$$

Trong đó: $X_i(x_i, y_i)$ là vị trí của hạt thứ i; V_{diff} là

tốc độ phân tán; t là thời gian (s).

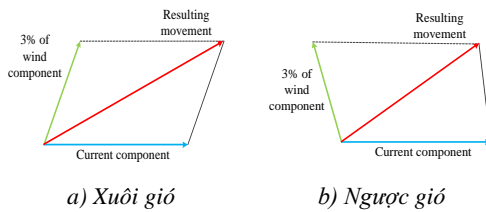
$$V_{drift}(x_i, y_i) = a_w V_w(x_i, y_i) + a_c V_c(x_i, y_i) \quad (5)$$

Trong đó, V_w là tốc độ gió tại 10m trên mặt nước biển; V_c là tốc độ dòng chảy; $a_w = 0,03$ là hệ số gió; $a_c = 1 < 0$ là hệ số dòng chảy.

$$V_{diff}(x_i, y_i) = V_{drift} R_n e^{i\alpha_n} \quad (6)$$

Trong đó: $R_n [-1, 1]$ là hệ số; $\alpha_n [0, \pi]$ là góc lệch;

V_{drift} là tốc độ đạt.



Hình 1. Ảnh hưởng của gió và dòng chảy

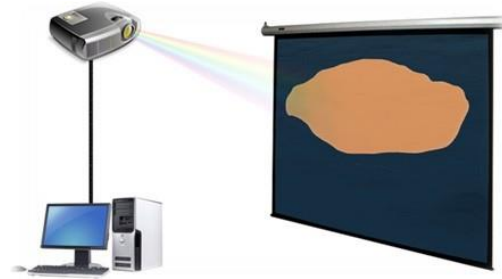
3. Mô phỏng thực tế ảo tràn dầu bằng kỹ thuật chiếu Render Texture

3.1. Tính mới của phương pháp

Hiện nay các nghiên cứu về tràn dầu đa phần chỉ tập trung ở các nghiên cứu về mặt toán học, tức là tính toán các chỉ số liên quan đến đặc tính lý hóa của dầu. Việc nghiên cứu thực tế ảo 3D tràn dầu sẽ không chỉ đưa ra các dự đoán về hướng di chuyển của dầu mà nó còn cho một cái nhìn trực quan, sinh động về hình ảnh tràn dầu trên biển, rất phù hợp với xu thế hiện nay. Phương pháp thực tế ảo chúng tôi sử dụng ở đây dựa trên phép chiếu Render Texture trong nền tảng Unity3D. Đây là phương pháp chưa từng được sử dụng trong việc mô phỏng sự cố tràn dầu ở các nghiên cứu trước.

Kỹ thuật của phương pháp này như sau: đầu tiên chúng tôi sẽ mô phỏng màng dầu dựa trên phương pháp Marching cube và Metaball, sau đó chúng tôi sẽ dùng phương pháp chiếu khung cảnh chuyển động màng dầu 3D này lên mặt biển, kết quả thu được một chương trình mô phỏng màng dầu 3D trên biển. Chúng tôi sử dụng Unity 3D Shader để hiển thị màu sắc của màng dầu và sự phản chiếu ánh sáng. Shader là một phương pháp có hiệu suất tính toán cao hơn khi sử dụng card đồ họa bằng lập trình song song, mặc dù hai phương pháp này đều thuộc kiểu lập trình trên GPU (Graphics Processing Unit).

3.2. Kỹ thuật chiếu Render Texture



Hình 2. Kỹ thuật chiếu kết cấu

Về cơ bản, kỹ thuật Render texture sử dụng trong Unity 3D cũng tương tự như nguyên lý của một máy chiếu, xem Hình 2. Trong quá trình chiếu kết cấu, phần quan trọng nhất là tính toán tọa độ kết cấu. Việc xác định tọa độ kết cấu phụ thuộc chủ yếu vào yếu tố hình học và vị trí của máy chiếu. Phép chiếu có thể được tương tự hóa như một máy chiếu, bản đồ kết cấu giống như một màn hình. Đặc biệt, chúng ta cần đặt đúng vị trí và góc chiếu cho máy chiếu theo màn hình thích hợp, sau đó nhập kết cấu hình chiếu vào máy chiếu sau khi chuyển đổi. Quy trình thực hiện cụ thể như sau:

a. Tạo một camera máy chiếu để chiếu; khởi tạo các cài đặt tương ứng bao gồm hướng chiếu, góc chiếu và phối cảnh. Hướng chiếu phụ thuộc vào vị trí màn hình của bạn.

b. Thực hiện biến đổi ma trận khung nhìn cho kết cấu dầu; có được tọa độ tương đối của kết cấu trong hệ tọa độ khung nhìn của camera. Khi đầu vào được đặt, quá trình này có thể được kích hoạt để chuyển thành hệ tọa độ cục bộ của nó từ hệ tọa độ thế giới.

c. Thực hiện biến đổi ma trận hình chiếu cho kết cấu được xử lý từ bước cuối cùng; thu được tọa độ tương đối trong hệ tọa độ chiếu camera. Bước này liên quan đến việc điều chỉnh máy chiếu theo mức độ và góc nhìn để đảm bảo tạo ra hình ảnh phù hợp cho màn hình.

d. Chuẩn hóa tọa độ kết cấu từ hai lần biến đổi cuối cùng và tạo ra kết quả để hiển thị. Việc chuẩn hóa nhằm đảm bảo rằng thuật toán không phụ thuộc vào thiết bị.

Như được mô tả bởi (7), kết cấu thu được được chuẩn hóa và đầu ra được chuyển đổi sang hệ tọa độ thế giới.

$$M_{world} = P \cdot M_{norm} \cdot M_{proj} \cdot M_{view} \quad (7)$$

$$M_{norm} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

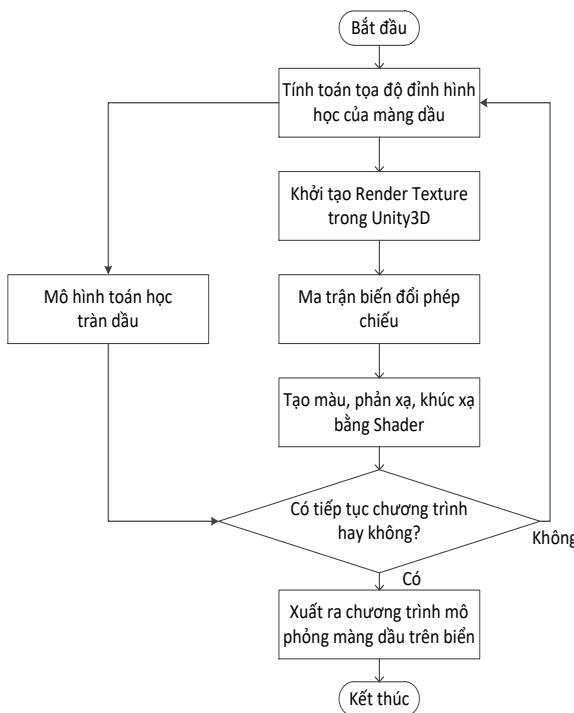
Trong đó, M_{world} là tọa độ kết cấu trong hệ tọa độ thế giới; P là tọa độ kết cấu trong hệ tọa độ địa phương; M_{norm} là ma trận chuẩn hóa; M_{proj} là ma trận chiếu; M_{view} là ma trận khung nhìn.

4. Thực hiện mô phỏng thực tế ảo sự cố tràn dầu trên biển

4.1. Quy trình thực hiện

Biểu đồ trực quan sự cố tràn dầu dựa trên phép chiếu kết cấu được thể hiện trong Hình 3. Quá trình chiếu được thực hiện theo các bước sau:

- Xác định tọa độ của từng đỉnh theo mô hình tràn dầu;
- Tạo ra hình ảnh chuyển động 3D của dầu bằng Render texture trong Unity3D;
- Thực hiện biến đổi ma trận khung nhìn và ma trận phép chiếu, đưa kết quả biến đổi vào phép chiếu;
- Sử dụng Shader để tạo màu cho vệt dầu và quá trình phân xạ, khúc xạ ánh sáng;
- Xuất ra chương trình mô phỏng 3D màng dầu trên biển.



Hình 3. Quy trình thực hiện mô phỏng

4.2. Kết quả mô phỏng

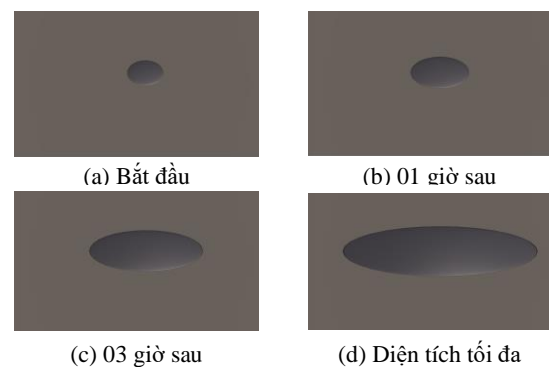
Trong quá trình lan rộng và trôi dạt ban đầu, mô hình Lehr và mô hình Hoult đã được áp dụng để tính toán diện tích tràn dầu. Để mô phỏng và hiển thị đặc tính và hành vi của màng dầu trên thiết bị đầu ra, mô hình được thử nghiệm trên máy tính để bàn có cấu hình như sau:

- Chipset: Intel(R) Core(TM) i7-6700 CPU @ 3.40 GHz;
- Card đồ họa: NVIDIA Quadro K620;
- Bộ nhớ RAM: DDR4 8GB;
- CPU: 4 nhân, 8 luồng.

Mô hình sự cố tràn dầu ba chiều được thực hiện bằng phần mềm Unity 3D, mã nguồn được viết bằng ngôn ngữ C# tích hợp với nền tảng Microsoft Visual Studio 2013. Bài viết này đã tái hiện lại sự cố tràn dầu xảy ra tại khu vực biển Vịnh Bắc bộ. Thông tin về vụ tràn dầu sử dụng trong mô hình được liệt kê như sau:

- Thời điểm: ngày 04 tháng 07 năm 2020
- Vị trí tràn dầu: khu vực biển Vịnh Bắc bộ
- Thể tích dầu tràn: $1000 m^3$
- Khối lượng riêng của dầu: $\rho_0 = 806 kg/m^3$
- Khối lượng riêng nước biển: $\rho_w = 1025 kg/m^3$
- Tốc độ gió ở độ cao 10m so với mặt nước biển: $W_{10} = 0.5 m/s$

Đầu tiên, sự phát triển của vệt dầu trong giai đoạn Lehr được thực hiện, trong giai đoạn này, vệt dầu chỉ đơn giản là tăng diện tích của hình elip, với trục chính và trục nhỏ có thể được tính toán dựa trên phương trình (1) và (2). Unity 3D được sử dụng để hình dung màng dầu ba chiều trên biển, mô hình chia khoảng thời gian thành lúc mới bắt đầu tràn, 01 giờ sau, 03 giờ sau và diện tích tràn dầu đạt mức tối đa, xem Hình 4.



Hình 4. Mô hình tràn dầu theo lý thuyết của Lehr

Khi màng dầu lan rộng đến diện tích tối đa (được tính toán theo phương trình 3), chúng tôi sẽ mô phỏng quá trình phân tách màng dầu thành những phần nhỏ hơn. Thuật toán Marching Cube (MC) được áp dụng để tái tạo lại bề mặt đẳng thế của từng hạt, mỗi hạt

được coi là một Metaball hiển thị dạng bề mặt đẳng thế, xem Hình 5. Để tạo các hiệu ứng như phản xạ, khúc xạ, màu sắc trung thực, đạt hiệu quả mô phỏng thời gian thực tốt nhất, tác giả đã sử dụng Unity3D Shader được viết bằng ngôn ngữ “ShaderLab”, nó là một dạng ngôn ngữ lập trình trên GPU thay vì được viết trên CPU như thông thường. Kết quả của chương trình mô phỏng được tác giả minh họa trong Hình 6.



Hình 5. Tái tạo bề mặt dầu bằng thuật toán MC



Hình 6. Mô phỏng 3D tràn dầu trên biển

Hiện nay có rất ít nghiên cứu mô phỏng thực tế ảo trong tràn dầu trên biển. Ren Hong Xiang [11] đã thực hiện mô hình 3D trực quan hóa sự cố tràn dầu, sử dụng mô hình hạt dầu để mô phỏng vệt dầu loang bị chia thành các phần nhỏ hơn trên mặt nước, tuy nhiên, Ren đã coi các hạt là những hình trụ nhỏ có cùng kích thước. Trong mô hình lan rộng, Ren sử dụng phương trình Fay để tính toán diện tích tràn dầu tại một khoảng thời gian, kết quả là vệt dầu được biểu diễn dưới dạng một vòng tròn trên mặt nước. Một số hạn chế cũng được bộc lộ khi sử dụng công thức của Fay, khiến mô hình dự báo sự cố tràn dầu có độ chính xác thấp. Yu Feng [12] cũng nghiên cứu mô hình tràn dầu bằng hình ảnh 3D trên biển, sử dụng công thức của Fay cho mô hình lan rộng, nhưng hoàn toàn không sử dụng mô hình hạt, điều này dẫn đến việc mô hình của Yu không đáp ứng được việc chia vệt dầu thành các phần nhỏ hơn.

5. Kết luận và triển vọng

Bài báo này đã thực hiện mô phỏng thực tế ảo hình ảnh tràn dầu trên biển bằng việc chiếu Render texture trên một bề mặt khác. Mô hình toán học tràn dầu được tính toán dựa trên lý thuyết của Lehr và Fingas để tính

toán và dự đoán sự lan rộng và trôi dạt của màng dầu trên biển, sau đó sử dụng phần mềm Unity3D để hiển thị quá trình dầu loang trên biển tại khu vực Vịnh Bắc bộ. Mô hình có thể mô phỏng với hiệu năng cao, đảm bảo yếu tố thời gian thực (Real-time), có thể mô phỏng quá trình phân tách của vệt dầu thành các mảnh nhỏ hơn, mô phỏng lượng dầu tràn trên diện tích lớn.

Trong các nghiên cứu tiếp theo, tác giả mong muốn tiếp tục phát triển sản phẩm để mô hình dầu loang có thể tương tác với các phao vây dầu và các tàu thu gom dầu trên biển, có như vậy mô hình của chúng tôi mới có thể ứng dụng được một cách đầy đủ trong phòng mô phỏng hàng hải để thực hiện các bài diễn tập ứng cứu khi có sự cố tràn dầu trên biển xảy ra để huấn luyện cho sinh viên và thuyền viên của Trường Đại học Hàng hải Việt Nam và các đơn vị có nhu cầu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số DT20-21.05.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ITOPF. Oil Tanker Spill Statistics 2019, Jan.2019. <https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/>.
- [2] Vũ Duy Vĩnh, *Mô phỏng quá trình lan truyền dầu khi xảy ra sự cố tràn dầu tại khu vực cửa sông Bạch Đằng*, Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học Công nghệ Môi trường năm, tr.290-298, 2007.
- [3] Dư Văn Toán, Nguyễn Quốc Trinh, *Mô phỏng một số kịch bản lan truyền dầu vùng biển Đông Nam Bộ*, Tạp chí Dầu khí: 8, tr.52-57, 2013.
- [4] Trần Duy Kiều, *Nghiên cứu mô phỏng nguy cơ lan truyền vệt dầu trong sự cố tràn dầu trên vùng biển Phú Quốc*, Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, Số 52, tr.44-51, 2016.
- [5] Nguyễn Quốc Trinh, Nguyễn Quang Vinh, *Nghiên cứu và phát triển mô phỏng dầu tràn ngược thời gian trên khu vực Biển Đông*, Tạp chí Dầu khí, tr.60-68, 2018.
- [6] M. Reed, O.M Aamo, P.S Daling. *Quantitative analysis of alternative oil spill response strategies using OSCAR*. Spill Science and Technology Bulletin, Vol.2(1), pp.67-74, 1995.
- [7] W.J Lehr, M. Belen, H.M Cekirge, N. Gunay, *GULFSLIK - an oil spill modeling program for the Arabian Gulf*. Proceedings of the Conference on Marine Environment and Pollution, pp.263-275, 1982.

- [8] Lehr W J, Cekirge H M, Fraga R J, et al. *Empirical studies of the spreading of oil spills*. Oil and Petrochemical Pollution, Vol.2, pp.7-12, 1984.
- [9] Fay J. A. *The spread of oil slicks on a calm sea*. Oil on the Sea, New York: Ed. Plenum Press, pp.53-63, 1969.
- [10] M.Fingas, *Chapter 8 - Introduction to spill modeling*, pp.187-200, 2015.
- [11] H. Ren et al., *3D Real-Time Rendering of Continuous Oil Spill on Simulated Ocean*, Journal of System Simulation, Vol.20, No.19, pp.5117-5120, 2008.
- [12] Yu Feng et al., *Real-time Visualization and Simulation of Oil Spill Based on Physical Model*, Journal of System Simulation, Vol.20, pp.313-315, 2008.

Ngày nhận bài:	31/01/2021
Ngày nhận bản sửa lần 01:	20/02/2021
Ngày nhận bản sửa lần 02:	07/3/2021
Ngày duyệt đăng:	18/3/2021