

PARTICLE VÀ VOLUMETRIC ÁP DỤNG MÔ PHỎNG MÂY TRONG ĐỒ HỌA BA CHIỀU

Đỗ Thị Bắc*, Hà Mỹ Trinh, Tạ Thị Thảo, Đỗ Thị Phương
Trường Đại học Công nghệ thông tin và Truyền thông – ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kỹ thuật Particle và Volumetric áp dụng mô phỏng mây trong đồ họa ba chiều. Qua cài đặt và thực nghiệm, Particle và Volumetric thể hiện những ưu điểm và nhược điểm khác nhau khi mô phỏng. Trong đó, Particle cho phép tính toán nhanh và hình ảnh mô phỏng tương đối tốt nhưng quá trình tính toán và chậm mang tính cục bộ cao dẫn tới hình ảnh mô phỏng thiếu chiều sâu, đặc biệt khi các đám mây chuyển động. Bên cạnh đó, Volumetric cần nhiều tính toán hơn nhưng cho hình ảnh mô phỏng mây có chiều sâu và độ tương đồng với thực tế cao hơn ngay cả khi có sự chuyển động. Cả hai kỹ thuật đều có tiềm năng phát triển và ứng dụng cao trong mô phỏng ba chiều, đặc biệt trong các tính toán thời gian thực của các ứng dụng thực tại ảo.

Từ khóa: *thực tại ảo; đồ họa ba chiều; mô phỏng mây; volumetric; particle.*

Ngày nhận bài: 15/5/2020; Ngày hoàn thiện: 30/11/2020; Ngày đăng: 30/11/2020

PARTICLE AND VOLUMETRIC APPLYING SIMULATION OF 3D CLOUD

Do Thi Bac*, Ha My Trinh, Ta Thi Thao, Do Thi Phuong
TNU – University of Information and Communication Technology

ABSTRACT

This paper presents Particle and Volumetric techniques applying simulation of three dimensional graphics. Through the installation and experiment, Particle and Volumetric show different advantages and disadvantages when simulating. In particular, Particle allows fast computation and relatively good simulated images, but high local collision computation results in a lack of depth simulation images, especially when clouds are moving. In addition, Volumetric requires more calculation but produces images that simulate clouds with greater depth and realism even when there is motion. Both techniques have high potential for development and application in three dimensional simulation, especially in real time computations of virtual reality applications.

Keywords: *virtual reality; three-dimensional graphics; cloud simulation; volumetric; particle.*

Received: 15/5/2020; Revised: 30/11/2020; Published: 30/11/2020

* Corresponding author. Email: dtbac@ictu.edu.vn

1. Giới thiệu

Xây dựng địa hình và khung cảnh là phần tất yếu phải thực hiện trong hầu hết các ứng dụng mô phỏng và thực tại ảo. Các nội dung cơ bản gồm xây dựng bề mặt địa hình, cây cối, công trình, mô phỏng bầu trời và các hiệu ứng môi trường. Trong đó, các hiện tượng tự nhiên nói chung và mây nói riêng được nghiên cứu từ sớm và có nhiều các ứng dụng trong nhiều lĩnh vực. Mây mô phỏng được ứng dụng trong đào tạo phi công qua hệ thống mô phỏng lái, trực quan thông tin khí tượng, xây dựng trò chơi, phim hoạt hình, kỹ xảo điện ảnh v.v..

Đám mây là một hiện tượng tự nhiên phổ biến, nhưng hình dạng của các đám mây luôn thay đổi, chịu ảnh hưởng liên tục của gió, không khí xung quanh và hiệu ứng chiếu sáng cũng rất phức tạp. Do đó, việc mô hình hóa và mô phỏng các đám mây luôn là một vấn đề khó khăn trong việc mô phỏng các hiện tượng tự nhiên. Trong các ứng dụng mô phỏng đào tạo thực hành, vấn đề đáng chú ý khi xây dựng các đám mây là khả năng tính toán của thuật toán và phản ứng tương tác thời gian thực. Làm thế nào để giảm độ phức tạp của mô hình và cải thiện hiệu suất thời gian thực của mô phỏng, tương tác và kết xuất hình ảnh luôn luôn là một vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu và giải quyết.

Mô hình mô phỏng mây đầu tiên được sử dụng là hệ Particle [1] gồm nhiều hạt cơ bản mô phỏng các phần tử trong đám mây. Kỹ thuật này gần với bản chất cấu tạo của các đối tượng lỏng và khí. Có nhiều kỹ thuật xuất phát từ hệ Particle và tương đối thành công không chỉ với mô phỏng mây mà còn với các hiệu tượng khác như khói, lửa, nước v.v..

Các nghiên cứu tiếp theo đã phát triển các mô hình dựa trên phương trình vật lý cho các hiện tượng tự nhiên như tuyết, mưa, nước hoặc lửa [2]. Những mô hình này không thể tính toán được trong thời gian thực vì chúng phải sử dụng hàng trăm ngàn hạt để đạt được kết quả hình ảnh chấp nhận được. Kết quả của nghiên cứu này được thực hiện trong các hệ thống

hoạt hình chuyên nghiệp và ngày nay là cơ sở cho việc tạo ra các hiệu ứng kỹ xảo điện ảnh. Tuy nhiên, để tạo ra hình ảnh cần tốn rất nhiều thời gian và đòi hỏi cấu hình cao cho các máy tham gia mô phỏng.

Một số nhà nghiên cứu kết hợp hai hệ Particle lại với nhau [3]. Trong đó, một hệ Particle dùng để mô phỏng tương tác bên trong đám mây, một hệ Particle khác mô phỏng môi trường xung quanh đám mây. Sự tương tác của hai hệ này tạo ra sự nhiễu loạn cho đám mây đang được mô phỏng nhưng kết quả thu được còn nhiều hạn chế.

Phương pháp sử dụng các ảnh vật liệu bán trong suốt kết hợp các kết cấu dạng đa giác hoặc elip [4], [5] thu được hình ảnh thời gian thực cho đám mây. Tuy nhiên, phương pháp này gặp nhiều vấn đề về khả năng tương tác của các đám mây đặc biệt khi tương tác vào bên trong của đám mây.

Volumetric [6] là kỹ thuật cho phép kết xuất hình ảnh ba chiều nhưng không tạo ra bề mặt hình học rõ ràng của đối tượng. Dựa trên các tia quang học tích lũy thuộc tính, với mỗi góc nhìn khác nhau sẽ kết xuất hình ảnh khác nhau cho đối tượng đám mây mô phỏng. Đây là kỹ thuật tạo hình ảnh có tính chiều sâu và tương đối giống với thực tế.

Mỗi kỹ thuật được đưa ra có những ưu điểm và nhược điểm riêng đòi hỏi quá trình nghiên cứu, phân tích để lựa chọn kỹ thuật phù hợp với các ứng dụng. Trong các phần tiếp theo của bài báo chúng tôi lựa chọn, trình bày chi tiết về kỹ thuật Particle và Volumetric cho quá trình mô phỏng mây và các thực nghiệm, ứng dụng trong quá trình mô phỏng. Đây là hai kỹ thuật có tiềm năng phát triển và còn nhiều khả năng có thể khai thác trong lĩnh vực mô phỏng mây.

2. Hệ Particle và thực nghiệm

Particle [1] là một kỹ thuật điển hình trong mô phỏng chất khí và lỏng, nó sử dụng một tập các hạt mô tả hoạt động của các phần tử trong đám mây. Có nhiều nghiên cứu liên quan tới việc áp dụng hệ Particle trong mô

phông mây. Tùy thuộc theo yêu cầu của ứng dụng mà hệ Particle có thể được ứng dụng một cách khác nhau hoặc kết hợp với một giải pháp khác để giải quyết vấn đề đưa ra. Trong bài toán về mô phỏng mây, vấn đề chính của việc sử dụng hệ Particle là ở việc đám mây thường rất lớn và cần nhiều hạt cơ bản để mô phỏng toàn bộ chúng. Đồng thời, chuyển động của các hạt trong đám mây cũng tương đối phức tạp.

Z. Liu và các cộng sự [5] đề xuất việc phân chia không gian ra thành các vùng và khi camera quan sát ở trong vùng nào thì tiến hành các tính toán cho hệ Particle ở đó. Một số đề xuất khác [7] tiến hành giảm số lượng hạt mô phỏng và thay thế chúng bởi các ảnh vật liệu bán trong suốt hoặc một lưới các đa diện. Helin Cui và các cộng sự [8] giảm thiểu số lượng và hình ảnh đám mây được kết xuất dựa trên việc kết hợp một bản đồ vật liệu thay thế cho các hạt cơ bản sau quá trình tính toán vật lý. Thay vì lấy hạt làm trung tâm, chúng kết nối với nhau hình thành các đa diện v.v.. Mặc dù có nhiều ý tưởng khác nhau nhưng các kỹ thuật mô phỏng mây sử dụng hệ Particle vẫn tuân theo các phương thức chung gồm 4 bước lặp đi lặp lại: Đầu tiên là tạo các hạt theo thuộc tính và tham số khởi tạo ban đầu. Thứ hai là cập nhật chuyển động. Tiếp đó là quá trình phát hiện và xử lý va chạm. Cuối cùng kết xuất hình ảnh và loại bỏ các hạt hết thời gian sống.

Mỗi hạt trong hệ Particle khi được sinh ra được khởi tạo một bộ tham số riêng điều khiển sự thay đổi chuyển động và cả hình ảnh trong thời gian tồn tại của nó. Các tham số ngẫu nhiên được thêm vào trong quá trình khởi tạo đảm bảo mỗi hạt sinh ra sẽ có sự khác biệt nhất định. Các thuộc tính cơ bản khi mô phỏng bao gồm: vị trí, tốc độ, kích thước, thời gian sống, độ trong suốt của vật liệu hoặc mặt nạ. Trong đó, vị trí của các phần tử sinh ra của một đám mây thường là một vùng không gian bị giới hạn. Vị trí P này của từng hạt trong hệ Particle là một dạng Vector ba

chiều $P(P_x, P_y, P_z)$. Tương tự như vậy, vận tốc di chuyển V cũng là một Vector ba chiều $V(V_x, V_y, V_z)$. Các hạt chịu tác dụng gia tốc trọng lực g , lực cản không khí f theo hướng trục thẳng đứng và vận tốc của gió theo chiều ngang V_w , hướng gió θ . Các giá trị về vị trí và vận tốc của các phần tử thay đổi theo công thức sau:

$$V_x = V_{x0} + V_w \cdot \cos\theta \quad (1)$$

$$V_y = V_{y0} - \int_0^t (g - f/m) dt \quad (2)$$

$$V_z = V_{z0} + V_w \cdot \sin\theta \quad (3)$$

$$P_x = P_{x0} + \int_0^t V_x dt \quad (4)$$

$$P_y = P_{y0} + \int_0^t V_y dt \quad (5)$$

$$P_z = P_{z0} + \int_0^t V_z dt \quad (6)$$

Màu sắc và độ trong suốt của các phần tử hạt được thay đổi theo thời gian và vị trí của chúng. Các hạt mờ đi theo thời gian và khi ra xa vị trí trung tâm của đám mây. Các mặt nạ được sử dụng thay thế cho các hạt trong quá trình kết xuất hình ảnh. Đa số các mặt nạ này là ảnh vật liệu bán trong suốt. Hình 1 là một số các mặt nạ thường được sử dụng khi mô phỏng các đám mây.

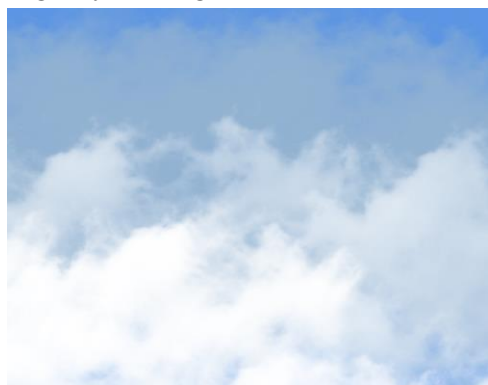


Hình 1. Mặt nạ sử dụng cho các đám mây

Quá trình tính toán va chạm giữa các phần tử trong đám mây được thực hiện dựa trên cơ sở của các thuật toán xác định va chạm [9]. Số lượng va chạm các phần tử được tính toán càng lớn thì hình ảnh mây sinh ra càng chân thực. Ở đây không chỉ tính tới sự va chạm giữa các phần tử với nhau mà tính đến cả những va chạm với các đối tượng khác không phải đám mây đang mô phỏng. Nhiều kỹ thuật khác nhau đã được đề xuất nhằm tăng

khả năng xác định va chạm khi thực hiện mô phỏng. Thay vì xác định va chạm từ đôi một giữa các phần tử trong đám mây, ta có thể chia các phần tử này thành một dạng hình cây và quản lý chúng. Trong quá trình các phần tử này di chuyển, dựa theo vị trí và vận tốc của chúng mà xác định lại vị trí của chúng trên cây quản lý hiện tại. Khi đó ta chỉ cần xác định va chạm giữa các phần tử trong một nhánh hoặc các nhánh lân cận nhau. Điều này giúp làm giảm chi phí tính toán đi nhiều lần và giúp tăng khả năng mở rộng đám mây khi mô phỏng.

Chúng tôi đã tiến hành thực nghiệm cài đặt theo thuật toán của hệ Particle. Kết quả thu được cho thấy đám mây mô phỏng có hình ảnh tương đối tốt. Hình 2 là ảnh khi mô phỏng mây sử dụng hệ Particle.



Hình 2. Mây mô phỏng theo hệ Particle

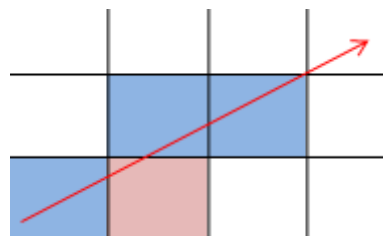
Kết quả thực nghiệm cho thấy việc mô phỏng mây dựa trên kỹ thuật Particle cho kết quả tốt, thực hiện được trong thời gian thực. Hình ảnh mô phỏng phụ thuộc nhiều và việc xử lý các mặt nạ. Khả năng tương tác giữa các phần tử trong đám mây và giữa đám mây và các đối tượng khác có một số hạn chế. Với kỹ thuật này, quá trình tương tác và kết xuất hình ảnh phụ thuộc vào các hạt mang tính độc lập cao. Điều này dẫn tới sự biến đổi về hình ảnh của đối tượng và tương tác chưa mang tính tổng thể và khó thực hiện với những biến đổi phức tạp giống trong thực tế.

3. Volumetric và thực nghiệm

Có nhiều các đề xuất khác nhau cho quá trình mô phỏng mây trong thực tại ảo. Trong đó, kỹ

thuật Volumetric [6] là một trong những kỹ thuật có nhiều tiềm năng phát triển và mang lại kết quả đáng mong đợi. Kỹ thuật này tỏ ra nhiều ưu thế khi mô phỏng các đối tượng tự nhiên ở dạng thể tích, tức là đối tượng chiếm giữ một vùng không gian ba chiều trong thế giới thực. Một số các đối tượng thường được mô phỏng bởi Volumetric như mây, lửa, khói, sương mù. Ngoài ra, Volumetric còn được sử dụng nhiều trong các ứng dụng đòi hỏi khả năng trực quan hóa như ba chiều hóa cơ thể bệnh nhân từ ảnh chụp cắt lớp hỗ trợ khám chữa bệnh, mô phỏng động lực học và nhiều lĩnh vực khác.

Kỹ thuật Volumetric cho phép kết xuất hình ảnh ba chiều nhưng không tạo ra bề mặt hình học rõ ràng của dữ liệu. Một mô hình quang học được sử dụng để kết xuất hình ảnh ba chiều từ dữ liệu. Trong quá trình kết xuất, thuộc tính quang học được tích lũy dọc theo mỗi tia nhìn để tạo thành hình ảnh của dữ liệu. Thuộc tính quang học này có thể là màu sắc hoặc độ trong. Hình 3 mô tả quá trình tích lũy quang học khi đi qua các vùng chứa các phần tử mây.



Hình 3. Tích lũy quang học theo tia nhìn

Trong kỹ thuật Volumetric, một đám mây được biểu diễn bởi một chồng các lát là các phần tử hơi nước. Mỗi một lát này được gọi là một voxel. Mỗi voxel tương ứng với một vị trí trong không gian ba chiều của đám mây và có mật độ các phần tử hơi nước khác nhau. Trong quá trình tạo ra hình ảnh tổng thể của đám mây, các voxel ở vị trí trung gian có thể được nội suy ra từ các voxel cạnh nó. Có nhiều kỹ thuật nội suy khác nhau được ứng dụng trong thực tế, và kết quả từ các kỹ thuật nội suy này ảnh hưởng tới chất lượng và tính liên tục của đám mây. Trong quá trình kết

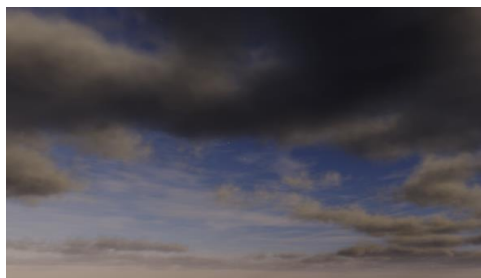
xuất, các tia nhìn xác định các voxel mà nó đi qua sau đó tiến hành kết xuất rời rạc. Tổng hợp của các kết xuất này là hình ảnh của đám mây được mô phỏng. Phương trình kết xuất khối rời rạc như sau:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \prod_{j=1}^{i-1} (1 - A_j) \quad (7)$$

$$A = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - A_j) \quad (8)$$

Trong đó: C và A là màu và độ trong suốt được gán bởi hàm truyền cho giá trị dữ liệu tại mẫu i . Trong quá trình mô phỏng mây, các voxel được tổ chức thành một lưới ba chiều, trong đó mỗi voxel lưu trữ thuộc tính về mật độ, màu sắc và độ trong suốt. Các tia quang học thay vì được chiếu từ khung nhìn của người quan sát tới lưới thì được tối ưu bằng cách bắt đầu từ cạnh tiếp xúc của lưới ba chiều và kết thúc ngay khi ra khỏi lưới. Một số kỹ thuật tính toán nhanh quá trình tích lũy các tia quang học đã được đề xuất [10] bằng cách tìm các khoảng cách tối thiểu để chiếu và tối ưu va chạm với các voxel dựa trên vị trí của các voxel. Một số dạng tổ chức các voxel khác cũng đã được đề xuất [11] nhằm tối ưu quá trình tính toán và kết xuất hình ảnh đám mây. Vấn đề về xác định và xử lý va chạm giữa đám mây và các đối tượng khác khi sử dụng Volumetric được quy về xử lý va chạm với các voxel. Quá trình này có những điểm tương đồng với quá trình xử lý va chạm của hệ Particle. Một số đề xuất kết hợp giữa hệ Particle và Volumetric [11] cho việc quá trình mô phỏng mây.

Chúng tôi đã tiến hành thực nghiệm và thu được những hình ảnh đám mây được kết xuất trong hình 4.



Hình 4. Mây mô phỏng với kỹ thuật Volumetric

Việc đánh giá kết quả mô phỏng của các hiện tượng tự nhiên dựa trên sự tương đồng giữa mô phỏng và thực tế. Có hai phương pháp cơ bản khi tiếp cận đánh giá độ tương đồng này. Phương pháp đầu tiên sử dụng các thiết bị đo, cảm biến chính xác được sử dụng kết hợp với việc không chế các điều kiện môi trường thí nghiệm để có các giá trị đo cụ thể. Đối tượng mô phỏng được đánh giá thông qua các bộ thông số đo thực tế này. Phương pháp này phức tạp, đòi hỏi chi phí lớn và khó thực hiện. Bên cạnh đó, với các đối tượng có kích thước lớn như mây, phương pháp này tỏ ra không khả thi. Một cách tiếp cận khác, các phương trình toán học phức tạp được sử dụng để tạo ra các bộ thông số khi mô phỏng. Tuy nhiên, quá trình tính toán tốn nhiều thời gian và chính các phương trình mô phỏng này cũng là một chủ đề đang được nghiên cứu và cần chứng minh tính chính xác của các phương trình. Do đó, các kết quả mô phỏng hiện tượng tự nhiên như khói, lửa, nước v.v. thường được đánh giá dựa trên cảm nhận về hình ảnh thu được khi mô phỏng. Đây cũng là một vấn đề đang được các nhà nghiên cứu về mô phỏng tìm hiểu nhằm hoàn chỉnh các phương pháp đánh giá kết quả.

Qua thực nghiệm, dựa trên hình ảnh thu được cho thấy Particle là kỹ thuật mô phỏng mây cho kết quả trong thời gian thực. Hình ảnh mô phỏng có độ tương đồng tốt với mây thực tế. Nhược điểm của kỹ thuật này là chiều sâu hình ảnh kém và sự chuyển đổi của các đám mây khi chuyển động là không cao. Điều này xuất phát từ sự độc lập của các Particle dẫn tới các tính toán mang tính cục bộ. Với kỹ thuật Volumetric, hình ảnh đám mây mô phỏng được nâng cao về chiều sâu và sự chuyển đổi giữa các đám mây khi chuyển động là tốt. Các vấn đề về phát hiện và xử lý va chạm có thể được đảm bảo trong thời gian thực. Nhược điểm của kỹ thuật Volumetric là khối lượng tính toán lớn hơn so với kỹ thuật Particle trong quá trình kết xuất hình ảnh trong thời gian thực.

Ứng dụng những kết quả nghiên cứu, chúng tôi áp dụng hiệu ứng mây cho việc xây dựng môi trường ảo cho các bài học về luật giao thông đường bộ. Ứng dụng giúp trẻ có kiến thức và ý thức khi tham gia giao thông. Quá trình mô phỏng mây không trực tiếp tạo ra bài học mà là một phần khiến hình ảnh ứng dụng sinh động và giống thực tế hơn. Hình 5 là kết quả đám mây được mô phỏng trong ứng dụng dạy luật giao thông.



Hình 5. Ứng dụng dạy luật giao thông cho trẻ nhỏ

Trẻ nhỏ thường hiếu động và các bài học về luật thường không hấp dẫn và khó tiếp thu. Các nghiên cứu tâm lý cho thấy, việc áp dụng các bài học theo dạng trò chơi, đồ họa giúp trẻ tiếp thu nhanh hơn và tạo ra sự hấp dẫn trong quá trình học. Vì vậy, ứng dụng cho trẻ cần sinh động và hấp dẫn về hình ảnh. Với một số ưu thế trong quá trình kết xuất hình ảnh, đám mây được mô phỏng bởi kỹ thuật Volumetric cho kết quả tốt. Kết quả cho thấy ứng dụng thu hút được sự quan tâm và học tập từ phía trẻ nhỏ.

4. Kết luận

Trong nội dung bài báo, chúng tôi tìm hiểu kỹ thuật mô phỏng mây. Đây là hiện tượng tự nhiên có nhiều ứng dụng trong mô phỏng, giáo dục và xã hội. Trong đó, kỹ thuật sử dụng hệ Particle và Volumetric được tìm hiểu chi tiết. Chúng tôi đã tiến hành cài đặt, thực nghiệm và kết quả cho thấy việc sử dụng hệ Particle có ưu điểm đơn giản, dễ cài đặt, tốc độ tính toán nhanh. Kết quả hình ảnh kết xuất được ở mức tốt. Tuy nhiên, quá trình xử lý và chậm khi sử dụng hệ Particle còn mang tính

cục bộ cao dẫn tới quá trình chuyển động và chuyển đổi của mây chưa thực sự tốt. Bên cạnh đó, kỹ thuật Volumetric cần nhiều tính toán hơn so với Particle nhưng cho kết quả hình ảnh mô phỏng giống thực tế. Kỹ thuật Volumetric có ưu thế hơn khi thể hiện được chiều sâu thông qua quá trình tính toán màu sắc và độ trong suốt chính xác. Cả hai kỹ thuật này đều đảm bảo các tính toán và xử lý nhanh trong thời gian thực. Đây là hai kỹ thuật tiêu biểu cho quá trình mô phỏng mây trong thực tại ảo và còn nhiều tiềm năng phát triển. Chúng tôi đã sử dụng các kết quả nghiên cứu được vào quá trình xây dựng khung cảnh cho ứng dụng học luật giao thông cho trẻ nhỏ và thu được những kết quả tương đối khả quan.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở (Mã số: CS2020-GV-01).

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1]. W. T. Reeves, "Particle Systems - A Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects", *ACM Transactions on Graphics*, vol. 2, no. 2, pp. 91-108, 1983.
- [2]. J. F. O'Brien, "Dynamic Simulation of Splashing Fluids", *In Computer Animation, Geneva, Switzerland*, 1995.
- [3]. M. N. Gamito, P. F. Lopes, and M. R. Gomes. "TwoDimensional Simulation of Gaseous Phenomena Using Vortex Particles", *In Proceedings of the 6th Eurographics Workshop on Computer Animation and Simulation*, 1995, pp. 3-15.
- [4]. C. Knöpfle, "3D Weather Forecast in a Virtual Studio", *FhG-IGD – Internal Report*, 1997.
- [5]. Z. Liu, Z. Wang, and C. Zhang, "Scheme of Dynamic Clouds Generation for 3D Real Time Flight Simulation," *Second International Conference on Computer Modeling and Simulation*, 2010, pp. 370-374.
- [6]. B. Lipus, and N. Guid, "Genetic algorithms in animation of volumetric clouds", *Proceedings of the 24th International Conference on Information Technology Interfaces (IEEE Cat. No.02EX534)*, Cavtat, Croatia, 2002, vol. 1, pp. 423-428.
- [7]. M. Unbescheiden, and A. Trembilski, "Cloud simulation in virtual environments", *In*

-
- Proceedings. IEEE 1998 Virtual Reality Annual International Symposium*(Cat. No.98CB36180), Atlanta, GA, USA, 1998, pp. 98-104.
- [8]. H. Cui, M. Qi, and D. Li, "3D cloud modeling base on fractal particle method," *In International Conference on Electrical and Control Engineering, Yichang*, 2011, pp. 5639-5643.
- [9]. W. Zhao, and Y. Zhang, "Survey of Collision Detection in Roaming of Virtual Environment," *In International Conference on Computer Science and Electronics Engineering, Hangzhou*, 2012, pp. 552-556.
- [10]. M. Sramek, and A. Kaufman, "Fast ray-tracing of rectilinear volume data using distance transforms," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 6, no. 3, pp. 236-252, July-Sept. 2000.
- [11]. T. Sun, F. Xu, J. Lu, M. Yin, and X. Liu, "A novel and practical algorithm for generating 3D volumetric clouds," *In International Conference on Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), Nanjing*, 2015, pp. 1-5.