

Chương VI

TextureMapping

Đây là bản nháp sơ bộ của ấn bản thứ hai của cuốn sách Đồ họa Máy tính 3D: Giới thiệu Toán học với OpenGL. Vì vậy, hãy đọc nó một cách thận trọng và phê bình! Sửa chữa được đánh giá cao. Bản thảo A.10.b Tác giả: Sam Buss, sbuss@ucsd.edu Bản quyền 2001, 2002, 2018, 2019.

VI.1 Ánh xạ kết cấu một hình ảnh

Ánh xạ kết cấu, ở dạng đơn giản nhất, bao gồm việc áp dụng một hình ảnh đồ họa, một bức tranh hoặc một mẫu lên một bề mặt. Bản đồ kết cấu có thể áp dụng hình ảnh thực tế lên bề mặt, chẳng hạn như nhân trên lon, hoặc hình ảnh trên bảng quảng cáo, v.v.; hoặc có thể áp dụng các mẫu bán lặp lại như vân gỗ hoặc bề mặt đá, v.v. Nói chung hơn, bản đồ kết cấu có thể chứa bất kỳ loại thông tin nào ảnh hưởng đến sự xuất hiện của bề mặt: bản đồ kết cấu đóng vai trò như một bảng được tính toán trước và bản đồ kết cấu sau đó chỉ bao gồm tra cứu bảng để có được thông tin ảnh hưởng đến một điểm cụ thể trên bề mặt khi nó được hiển thị. Nếu bạn không sử dụng bản đồ kết cấu, các bề mặt của bạn sẽ được hiển thị dưới dạng bề mặt đồng nhất, rất mịn hoặc sẽ cần được hiển thị với các đa giác rất nhỏ để bạn có thể chỉ định rõ ràng các thuộc tính bề mặt trên tỷ lệ nhỏ.

Bản đồ kết cấu thường được sử dụng để tạo hiệu ứng rất tốt trong cài đặt kết xuất thời gian thực, chẳng hạn như trò chơi máy tính, vì nó cho kết quả tốt với tải tính toán tối thiểu. Ngoài ra, bản đồ kết cấu được hỗ trợ rộng rãi bởi phần cứng đồ họa như bo mạch đồ họa cho PC, để chúng có thể được sử dụng mà không cần tính toán nhiều từ bộ xử lý trung tâm.

Bản đồ kết cấu có thể được áp dụng tại ba điểm khác nhau về cơ bản trong quá trình kết xuất đồ họa, mà chúng tôi liệt kê ít nhiều để tăng tính tổng quát và tính linh hoạt:

- Bản đồ kết cấu có thể giữ các màu được áp dụng cho bề mặt ở chế độ “thay thế” hoặc “decals”: màu bản đồ kết cấu chỉ ghi đè lên bất kỳ màu bề mặt nào hiện có. Trong trường hợp này, không cần tính toán ánh sáng

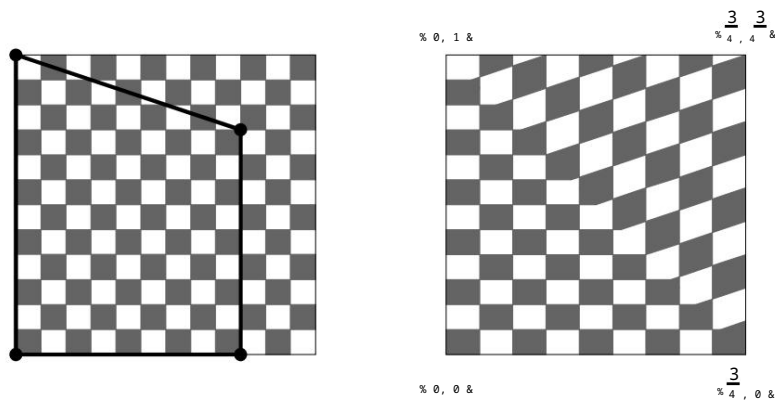
được thực hiện, vì kết quả của các tính toán ánh sáng sẽ chỉ được ghi đè.

- Bản đồ kết cấu có thể chứa các thuộc tính như màu sắc, độ sáng hoặc độ trong suốt, ảnh hưởng đến hình thức bề mặt sau khi hoàn thành tính toán mô hình chiếu sáng. Trong trường hợp này, các thuộc tính bản đồ kết cấu được pha trộn với hoặc điều chỉnh màu sắc của bề mặt theo tính toán của mô hình chiếu sáng. Chế độ này và chế độ đầu tiên là chế độ phổ biến nhất để sử dụng bản đồ kết cấu.
- Bản đồ kết cấu có thể chứa các thuộc tính như hệ số phản xạ, dịch chuyển bình phương hoặc các thông số khác cho mô hình chiếu sáng Phong hoặc mô hình Cook-Torrance. Trong trường hợp này, các giá trị bản đồ kết cấu sửa đổi các thuộc tính bề mặt được nhập vào mô hình chiếu sáng. Một ví dụ nổi bật về điều này là "bản đồ vết sơn", ảnh hưởng đến các chuẩn bề mặt bằng cách chỉ định các chuyển vị ảo đối với bề mặt.

Tất nhiên, không có lý do gì bạn không thể kết hợp các kỹ thuật bản đồ kết cấu khác nhau bằng cách áp dụng nhiều hơn một bản đồ kết cấu cho một bề mặt. Ví dụ: người ta có thể áp dụng cả một bản đồ kết cấu thông thường điều chỉnh màu sắc của bề mặt, cùng với một bản đồ xoay quanh vectơ bình phương. Đặc biệt, người ta có thể áp dụng bản đồ kết cấu cả trước và sau khi tính toán ánh sáng.

Một bản đồ kết cấu thường bao gồm một mảng dữ liệu hình chữ nhật, hai chiều, được lập chỉ mục với hai tọa độ s và t , với cả s và t thay đổi từ 0 đến 1. Giá trị dữ liệu thường là màu, nhưng có thể là bất kỳ giá trị hữu ích nào khác. Dữ liệu trong bản đồ kết cấu có thể được tạo ra từ một hình ảnh như ảnh chụp, bản vẽ hoặc đầu ra của chương trình đồ họa. Dữ liệu cũng có thể được tạo theo thủ tục; ví dụ, có thể dễ dàng tính toán các mẫu đơn giản như mẫu bàn cờ. Dữ liệu được tạo theo thủ tục có thể được tính toán trước và lưu trữ trong một mảng hai chiều hoặc có thể được tính toán khi cần thiết. Cuối cùng, bản đồ kết cấu có thể được tạo trong chính quá trình kết xuất; một ví dụ về điều này sẽ là tạo bản đồ môi trường bằng cách kết xuất trước cảnh từ một hoặc nhiều góc nhìn và sử dụng kết quả để xây dựng bản đồ kết cấu được sử dụng cho giai đoạn kết xuất cuối cùng.

Chương này sẽ thảo luận về các khía cạnh sau của việc lập bản đồ kết cấu. Đầu tiên, khi một bề mặt được hiển thị, cần phải gán các tọa độ kết cấu s và t cho các đỉnh, sau đó là các pixel. Các giá trị s và t này được sử dụng làm tọa độ để lập chỉ mục vào kết cấu và chỉ định vị trí nào trong bản đồ kết cấu được áp dụng cho bề mặt. Phương pháp gán tọa độ kết cấu cho các vị trí trên bề mặt được thảo luận trong Phần VI.1.2. Khi các tọa độ kết cấu được gán cho các đỉnh trên một đa giác, cần phải nội suy chúng để gán các tọa độ kết cấu cho các pixel được kết xuất: toán học đằng sau điều này được thảo luận trong Phần VI.1.1. Bản đồ kết cấu rất dễ bị hiệu ứng hình ảnh xấu do răng cưa; điều này có thể được kiểm soát bằng "ánh xạ" và các kỹ thuật khác, như được thảo luận trong Phần VI.1.3. Phần VI.2 thảo luận về ánh xạ va chạm và Phần VI.3 thảo luận về ánh xạ môi trường. Các phần còn lại trong chương này bao gồm



Hình VI.1: Hình vuông bên trái là bản đồ kết cấu. Hình vuông bên phải được tô bằng một vùng hình tứ giác của bản đồ họa tiết này. Các tọa độ ghi nhãn các góc của hình vuông là các giá trị s , t được lập chỉ mục vào bản đồ kết cấu. Tiểu vùng của bản đồ kết cấu bàn cờ được chọn bởi các tọa độ s và t được hiển thị trong hình vuông bên trái. Trước tiên, tiểu vùng này của bản đồ kết cấu đã được chuyển đổi thành hai tam giác và mỗi tam giác được ánh xạ bằng nội suy tuyến tính thành tam giác tứ giác ứng trong hình vuông bên phải: điều này tạo ra ranh giới đường chéo có thể nhìn thấy giữa các tam giác.

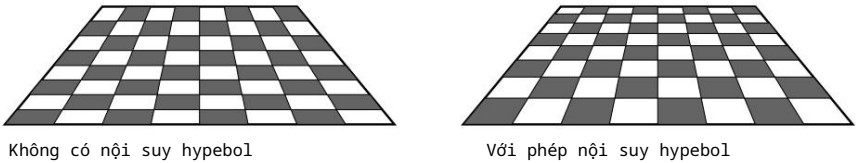
một số khía cạnh thực tế của việc sử dụng bản đồ kết cấu và đặc biệt chú ý đến các phương pháp sử dụng bản đồ kết cấu phổ biến nhất trong OpenGL.

VI.1.1 Nội suy một kết cấu cho một bề mặt

Bước đầu tiên trong việc áp dụng bản đồ kết cấu hai chiều cho một bề mặt được mô hình đa giác là gán tọa độ kết cấu cho các đỉnh của đa giác: nghĩa là gán các giá trị s và t cho mỗi đỉnh. Khi điều này được thực hiện, tọa độ kết cấu cho các điểm bên trong đa giác có thể được tính bằng phép nội suy. Nếu đa giác là một tam giác (hoặc là tam giác), thì bạn có thể sử dụng tọa độ trung tâm để nội suy tuyến tính các giá trị của tọa độ s và t trên tam giác. Nếu đa giác là một tứ giác, bạn có thể sử dụng phép nội suy song tuyến để nội suy các giá trị của s và t trên phần bên trong của tứ giác. Quy trình trước đây được thể hiện trong Hình VI.1 trong đó một hình tứ giác được kết cấu với một vùng của bản đồ kết cấu bàn cờ; sự biến dạng gây ra bởi thực tế là các tọa độ s và t không chọn một vùng của bản đồ kết cấu có cùng hình dạng với hình tứ giác.

Sự biến dạng là khác nhau ở nửa trên bên phải và nửa dưới bên trái của hình tứ giác: điều này là do đa giác là hình tam giác và phép nội suy tuyến tính của các tọa độ kết cấu được áp dụng độc lập cho hai hình tam giác.

Đối với nội suy tuyến tính hoặc song tuyến của các tọa độ kết cấu, có thể mong muốn bao gồm hiệu chỉnh nội suy hyperbol để bù đắp



Hình VI.2: Hình bên phải sử dụng phép nội suy hypebol để hiển thị hình ảnh thu nhỏ của phối cảnh chính xác. Hình bên trái thì không.

đối với sự thay đổi về khoảng cách ảnh hưởng đến tốc độ thay đổi của tọa độ kết cấu. Khi sử dụng phép chiếu phối cảnh, phép nội suy hypebol sẽ điều chỉnh sự khác biệt giữa nội suy trong tọa độ màn hình và nội suy trong tọa độ của mô hình 3D. Điều này được thể hiện trong Hình VI.2, trong đó phép nội suy hypebol làm cho các hình vuông ở xa hơn được thu nhỏ một cách chính xác. Tham khảo Phần V.5 để biết toán về phép nội suy hypebol.

Nội suy hyperbolic có thể được kích hoạt trong OpenGL bằng cách sử dụng lệnh

```
glHint (GL PERSPECTIVE CORRECTION HINT, GL NICEST);
```

Nhược điểm của phép nội suy hypebol là nó yêu cầu tính toán thêm và do đó có thể chậm hơn. Nội suy hypebol là cần thiết hầu hết khi các kết cấu được áp dụng cho các đa giác lớn, nhìn nghiêng. Ví dụ: nếu d_1 và d_2 là khoảng cách tối thiểu và tối đa từ vị trí xem đến các điểm trên đa giác và nếu sự khác biệt về khoảng cách, $d_2 - d_1$ có thể so sánh bằng hoặc lớn hơn khoảng cách tối thiểu, thì phép nội suy d_1 có thể hữu ích đáng kể. , sau đó hypebol

VI.1.2 Gán tọa độ kết cấu

Tiếp theo chúng ta sẽ thảo luận về một số vấn đề liên quan đến việc gán các tọa độ kết cấu cho các đỉnh trên một bề mặt. Trong nhiều trường hợp, việc lựa chọn tọa độ kết cấu hơi đặc biệt và phụ thuộc rất nhiều vào loại bề mặt và loại kết cấu, v.v. Vì hầu hết các bề mặt không phẳng, như chúng ta thường làm việc với các kết cấu hai chiều phẳng, nên thường không có phương pháp tốt nhất để chỉ định các tọa độ của kết cấu. Chúng tôi sẽ chỉ giải quyết một số ví dụ đơn giản nhất về cách các tọa độ của bản đồ kết cấu được chỉ định: cụ thể là đối với hình trụ, đối với hình cầu và đối với tori. Chúng tôi cũng thảo luận về một số cạm bẫy phổ biến trong việc ấn định tọa độ kết cấu. Để biết các công cụ toán học phức tạp hơn có thể hỗ trợ quá trình gán tọa độ kết cấu cho các bề mặt phức tạp hơn, hãy tham khảo bài viết của Bier và Sloane [12] hoặc sách giáo khoa [120].

Đầu tiên, hãy xem xét vấn đề ánh xạ một bản đồ kết cấu lên một hình dạng có các mặt là các mặt phẳng, ví dụ, một hình lập phương. Vì các mặt đều phẳng và bản đồ kết cấu hai chiều là phẳng, nên quá trình ánh xạ bản đồ kết cấu lên bề mặt không liên quan đến bất kỳ sự kéo dài hoặc biến dạng phi tuyến tính nào của kết cấu

bản đồ. Đối với một tình huống đơn giản chẳng hạn như một khối lập phương, người ta thường có thể đặt tọa độ kết cấu một cách rõ ràng bằng tay. Tất nhiên, một đỉnh duy nhất trên hình lập phương thuộc ba mặt khác nhau của hình lập phương, vì vậy nói chung cần phải vẽ các mặt của hình lập phương một cách độc lập, để sử dụng các bản đồ kết cấu thích hợp và các tọa độ kết cấu khác nhau cho mỗi mặt.

Để áp dụng bản đồ kết cấu cho các bề mặt không phải là các mặt phẳng riêng lẻ, sẽ rất tiện lợi nếu bề mặt có thể được xác định tham số bằng một số hàm $p(u, v)$, trong đó u, v & phạm vi trên một số vùng của tọa độ kết cấu R . ~~Trong hầu hết các trường hợp~~ và v , hợp, người ta đặt các ứng dụng như phức tạp hơn cũng có thể để tọa độ kết cấu phụ thuộc vào $p(u, v)$ và $/$ hoặc bề mặt bình thường.

Đối với ví dụ đầu tiên về một bề mặt được xác định theo tham số, hãy xem xét cách ánh xạ các tọa độ kết cấu lên bề mặt của một hình trụ. Chúng ta sẽ chỉ chú ý đến vấn đề làm thế nào để ánh xạ kết cấu lên mặt bên của hình trụ, không phải mặt trên hoặc mặt dưới. Giả sử hình trụ có chiều cao h và bán kính r , và chúng ta đang cố gắng bao phủ mặt bên của hình trụ bằng một bản đồ kết cấu bao quanh hình trụ, giống như nhãn thực phẩm có thể quấn quanh hộp (xem Hình VI.3). Mặt bên của hình trụ có thể được xác định theo tham số với các biến θ và y với hàm

$$p(\theta, y) = (r \sin \theta, y, r \cos \theta),$$

đặt hình trụ ở vị trí "chuẩn" với tâm của nó tại gốc và với trục y là trục trung tâm của hình trụ. Ta cho y nằm trong khoảng từ $-h/2$ đến $h/2$ nên hình trụ có chiều cao là h .

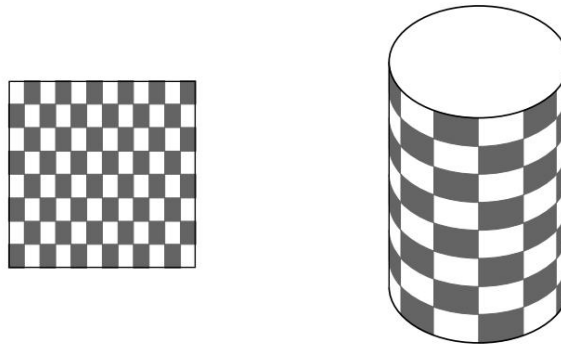
Một trong những lựa chọn tự nhiên nhất để chỉ định tọa độ kết cấu cho xi lanh sẽ được sử dụng

$$s = \frac{\theta}{360} \quad \text{và} \quad t = \frac{y + h/2}{\text{giới}}. \tag{VI.1}$$

Điều này cho phép s thay đổi tuyến tính từ 0 đến 1 vì θ thay đổi từ 0 đến 360 (chúng tôi vẫn đang sử dụng độ để đo góc) và cho phép t thay đổi từ 0 đến 1 khi y thay đổi từ $-h/2$ đến $h/2$. Điều này có tác dụng dán bản đồ kết cấu lên hình trụ mà không có bất kỳ sự biến dạng nào ngoài việc được thu nhỏ để che hình trụ; ranh giới bên phải và bên trái gặp nhau ở mặt trước của hình trụ dọc theo đường tại đó $x = 0$ và $z = r$.

Bài tập VI.1. Việc gán các tọa độ kết cấu hình trụ nên được thực hiện như thế nào để ranh giới bên trái và bên phải của bản đồ kết cấu gặp nhau tại đường ở phía sau của hình trụ tại đó $x = 0$ và $z = -r$?

Mặc dù việc ánh xạ các tọa độ kết cấu với hình trụ là rất thẳng thắn đối với phương, nhưng có một lỗi tiềm ẩn có thể phát sinh khi vẽ một bản vá trên hình trụ trải dài trên đường mà các ranh giới kết cấu gặp nhau. Điều này được giải thích tốt nhất với một ví dụ. Giả sử chúng ta đang vẽ bản vá như trong Hình VI.4, có các đỉnh x, y, z và w . Đối với x và w , giá trị của θ là 36° , và đối với y và z , giá trị của θ là 36° . Bây giờ nếu bạn tính toán



Hình VI.3: Bản đồ kết cấu và ứng dụng của nó đối với hình trụ.

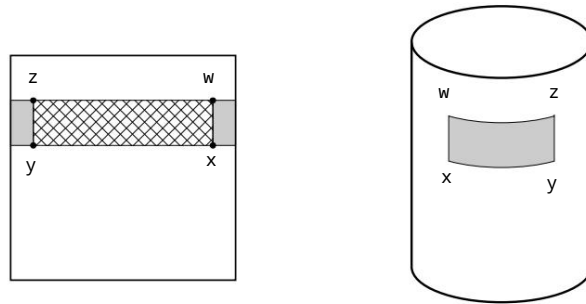
tọa độ kết cấu với $0 \leq s \leq 1$, thì chúng ta nhận được $s = 0,9$ cho tọa độ kết cấu của x và w và $s = 0,1$ cho các điểm y và z . Điều này sẽ có tác dụng không mong muốn khi ánh xạ vùng hình chữ nhật dài gạch chéo của bản đồ kết cấu được thể hiện trong Hình VI.4 vào miếng vá trên hình trụ.

Để khắc phục sự cố này, người ta nên sử dụng một bản đồ kết cấu lặp lại, hoặc "bao bọc xung quanh". Bản đồ kết cấu lặp lại là một bản đồ kết cấu vô hạn bao phủ toàn bộ mặt phẳng thứ hai bằng cách lát mặt phẳng với vô số bản sao của bản đồ kết cấu. Sau đó, bạn có thể đặt $s = 0,9$ cho x và w , và $s = 1,1$ cho y và z .

(Hoặc bạn có thể sử dụng $s = 0,1$ và $s = 0,1$ tương ứng, hoặc nói chung, bạn có thể thêm bất kỳ số nguyên nào vào các giá trị s .) Tất nhiên, điều này có nghĩa là bạn cần sử dụng một cách cẩn thận nhất định trong cách bạn chỉ định tọa độ kết cấu. Nhớ lại Phần III.3.2 rằng các lỗi vòng tròn nhỏ trong việc định vị một đỉnh có thể gây ra các khoảng trống cỡ pixel trên các bề mặt. Do đó, điều quan trọng là bất kỳ điểm nào được chỉ định nhiều lần do là một phần của nhiều hơn một bản vá bề mặt, luôn có vị trí được chỉ định với cùng một giá trị θ và y . Việc tính toán các giá trị θ và y phải được thực hiện theo cùng một phương pháp chính xác mỗi lần để tránh sai số làm tròn. Tuy nhiên, cùng một điểm có thể được vẽ nhiều lần với các giá trị kết cấu khác nhau. Một ví dụ về điều này là điểm y của Hình VI.4, đôi khi cần $s = 0,1$ và đôi khi $s = 1,1$. Đặc biệt, các tọa độ kết cấu s và t không hoàn toàn là hàm của θ và y ; vì vậy bạn cần theo dõi 'số vòng tua', tức là số lần vòng quay của xi lanh.

Vẫn còn một rủi ro mà lỗi vòng tròn có thể gây ra $s = 0,1$ và $s = 1,1$ tương ứng với các pixel khác nhau trong bản đồ kết cấu. Điều này được cho là sẽ hiếm khi gây ra các khuyết tật nghiêm trọng có thể nhìn thấy được trong hình ảnh.

Bây giờ chúng ta chuyển sang vấn đề gán các tọa độ kết cấu cho một hình cầu. Không giống như trụ đứng hợp của một hình trụ, một hình cầu về bản chất là cong, có nghĩa là không có cách nào để che (thậm chí một phần của) hình cầu bằng một mảnh giấy phẳng mà không làm cho giấy bị kéo căng, gấp, rách hoặc biến dạng. Đây cũng là một vấn đề mà các nhà lập bản đồ phải đối mặt, vì nó có nghĩa là không có chính xác hoàn toàn,



Hình VI.4: Các tứ giác x, y, z, w chọn một vùng của bản đồ kết cấu. Vùng giao nhau của bản đồ kết cấu không phải là vùng dự kiến của bản đồ kết cấu. Vùng được tô bóng là vùng dự định.

cách không biến dạng để biểu diễn bề mặt Trái Đất trên bản đồ phẳng. (Các Bản đồ Mercator là một phương pháp thường được sử dụng để ánh xạ một bề mặt hình cầu thành một bản đồ phẳng, nhưng gặp phải vấn đề làm sai lệch kích thước tương đối, cũng như từ thực tế rằng nó không thể được sử dụng để lập bản đồ tất cả các con đường đến các cực.)

Vấn đề về việc gán các tọa độ kết cấu cho các điểm trên một hình cầu là vấn đề mà các nhà lập bản đồ phải đối mặt, nhưng ngược lại: thay vì lập bản đồ các điểm trên hình cầu vào bản đồ phẳng, chúng tôi đang chỉ định các điểm từ bản đồ kết cấu phẳng vào quả cầu. Hình cầu có thể được tham số hóa tự nhiên bởi các biến θ và φ bằng cách sử dụng hàm tham số

$$p(\theta, \varphi) = (r \sin \theta \cos \varphi, r \sin \theta \sin \varphi, r \cos \theta)$$

Ở đây, θ đại diện cho góc tiêu đề (tức là, xoay quanh trục y), và φ đại diện cho góc phương vị hoặc góc "cao độ". Vì giá trị của θ thay đổi từ 0 đến 360 , và giá trị của φ nằm trong khoảng từ -90 đến 90 , các điểm $p(\theta, \varphi)$ quét qua ra tất cả các hình cầu.

Lựa chọn tự nhiên đầu tiên để chỉ định tọa độ bản đồ kết cấu sẽ là

$$s = \frac{\theta}{360} \quad \text{và} \quad t = \frac{\varphi}{180} + \frac{1}{2}. \quad (\text{VI.2})$$

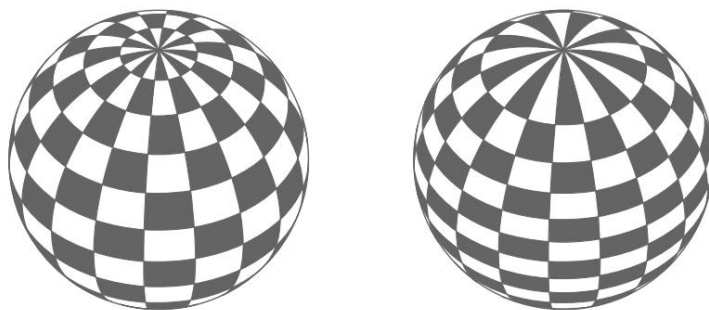
Bài tập này hoạt động tương đối tốt.

Lựa chọn thứ hai để chỉ định tọa độ kết cấu sẽ là sử dụng giá trị y thay cho giá trị φ của t . Cụ thể,

$$s = \frac{\theta}{360} \quad \text{và} \quad t = \frac{\arcsin y}{2} + \frac{1}{2}. \quad (\text{VI.3})$$

Phương pháp này là ánh xạ mặt cầu trực giao ra bên ngoài với bề mặt của một hình trụ và sau đó mở hộp hình trụ thành một hình chữ nhật phẳng. Một lợi thế của bản đồ thứ hai này là nó đang bảo tồn khu vực.

Hình VI.5 cho thấy một mẫu bản đồ được áp dụng cho một hình cầu có hai các chức năng phân công phối hợp kết cấu. Cả hai phương pháp gán kết cấu



Hình VI.5: Hai ứng dụng của bản đồ kết cấu đối với hình cầu. Hình cầu bên trái có kết cấu bàn cờ được áp dụng với tọa độ kết cấu được cung cấp bởi bản đồ hình cầu của Phức hợp trình (VI.2). Hình cầu bên phải sử dụng các tọa độ kết cấu được cung cấp bởi phần tiếp giáp hình trụ của Phức hợp trình (VI.3). Các hình cầu được vẽ với một độ nghiêng và một vòng quay nhỏ.

tọa độ bị bài toán chụm lại ở các cực của mặt cầu.

Vì hình cầu về bản chất là cong, nên không thể tránh khỏi một số hành vi kiểu này.

Cuối cùng, chúng tôi xem xét vấn đề làm thế nào để áp dụng các tọa độ kết cấu cho bề mặt của một hình xuyến. Giống như hình cầu, hình xuyến về bản chất là cong, vì vậy bất kỳ phức hợp pháp gán tọa độ bản đồ kết cấu nào trên hình xuyến đều phải có một số biến dạng. Nhắc lại bài tập IV.2 trang 132 rằng hình xuyến có phức hợp trình tham số

$$p(\theta, \varphi) = (R + r \cos \varphi) \sin \theta, r \sin \varphi, (R + r \cos \varphi) \cos \theta \quad \&$$

trong đó R là bán kính chính, r là bán kính phụ và cả θ và φ đều nằm trong khoảng từ 0 đến 360 . Cách rõ ràng nhất để chỉ định tọa độ kết cấu cho hình xuyến sẽ là

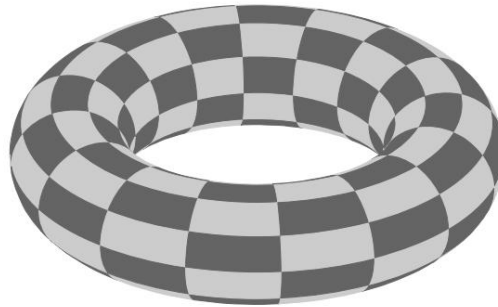
$$s = \frac{\theta}{360} \quad \text{và} \quad t = \frac{\varphi}{360}.$$

Hình VI.6 minh họa ứng dụng của bản đồ kết cấu bàn cờ đối với hình xuyến.

Bài tập VI.2. Tâm của bản đồ kết cấu sẽ xuất hiện ở đâu trên hình xuyến dưới sự gán các tọa độ kết cấu cho hình xuyến ở trên? Bạn sẽ thay đổi phép gán như thế nào để làm cho tâm của bản đồ kết cấu xuất hiện ở phía trước của hình xuyến (trên trục z dư ơng)?

VI.1.3 Mipmapping và khử răng cưa

Bản đồ kết cấu thường gặp vấn đề với răng cưa. Thuật ngữ 'răng cưa' có nghĩa là, nói một cách rộng rãi, bất kỳ vấn đề nào xảy ra do chuyển đổi giữa kỹ thuật số và tư ơng tự hoặc từ chuyển đổi giữa kỹ thuật số được lấy mẫu khác nhau



Hình VI.6: Bản đồ kết cấu bàn cờ áp dụng cho hình xoắn.

các định dạng. Trong trường hợp bản đồ kết cấu, sự cố răng cưa có thể xảy ra bất cứ khi nào không có sự tương ứng 1-1 giữa pixel màn hình và pixel kết cấu. Để thuận tiện cho việc thảo luận, chúng tôi giả định rằng các tọa độ kết cấu được nội suy từ các đỉnh của một đa giác để cung cấp một tọa độ kết cấu cho từng pixel riêng lẻ trong phần bên trong của đa giác. Sau đó, chúng tôi giả định rằng tọa độ kết cấu cho pixel màn hình được làm tròn đến vị trí pixel gần nhất trong kết cấu và màu của pixel bản đồ kết cấu đó được hiển thị trên màn hình ở vị trí pixel đã cho. Nói cách khác, mỗi pixel màn hình giữ màu từ một pixel bản đồ kết cấu duy nhất. Chúng ta sẽ sớm thảo luận về các cách tốt hơn để gán màu cho các pixel trên màn hình từ màu của bản đồ kết cấu, nhưng chúng ta đưa ra giả định này vào lúc này để thảo luận về cách thức dễ dàng sao chép từ bản đồ kết cấu sang màn hình dẫn đến các vấn đề.

Đầu tiên, hãy xem xét trường hợp độ phân giải bản đồ kết cấu nhỏ hơn độ phân giải tương ứng của màn hình. Trong trường hợp này, một pixel bản đồ kết cấu đơn lẻ sẽ tương ứng với một khối pixel trên màn hình. Điều này sẽ làm cho mỗi pixel bản đồ kết cấu xuất hiện dưới dạng một vùng (có thể giống hoặc ít hơn hình trực tràng) trên màn hình. Kết quả là một phiên bản phóng to của bản đồ kết cấu hiển thị mỗi pixel là một khối quá lớn.

Thứ hai, hãy xem xét trường hợp (có thể tồi tệ hơn nhiều) trong đó độ phân giải pixel của màn hình tương tự hoặc nhỏ hơn độ phân giải của bản đồ kết cấu. Thoạt nghĩ, người ta có thể nghĩ rằng đây là một tình huống tốt, vì nó có nghĩa là bản đồ kết cấu có rất nhiều độ phân giải để được vẽ trên màn hình. Tuy nhiên, hóa ra, trường hợp này có thể dẫn đến các hiệu ứng hình ảnh rất xấu như nhiễu và nhấp nháy. Các vấn đề nảy sinh từ thực tế là mỗi pixel màn hình được chỉ định một màu từ một pixel bản đồ kết cấu. Khi độ phân giải pixel của bản đồ kết cấu cao hơn độ phân giải màn hình, điều này có nghĩa là chỉ một phần nhỏ của pixel bản đồ kết cấu được chọn để hiển thị trên màn hình. Do đó, một số loại vấn đề có thể xuất hiện, bao gồm các mẫu giao thoa không mong muốn, hình dạng lốm đốm, hạt hoặc các hiện vật khác. Khi hiển thị một bản đồ kết cấu chuyển động, các pixel khác nhau từ bản đồ kết cấu có thể được hiển thị trong các khung khác nhau; điều này có thể gây ra các hiệu ứng hình ảnh không mong muốn hơn nữa như nhấp nháy, nhấp nháy hoặc nhìn lướt qua. Các hiệu ứng tương tự có thể xảy ra khi độ phân giải màn hình cao hơn một chút so với độ phân giải bản đồ kết cấu, do thực tế là

pixel bản đồ kết cấu có thể tương ứng với số lượng pixel màn hình khác nhau.

Có một số phương pháp được sử dụng để khắc phục hoặc ít nhất là khắc phục một phần các vấn đề rằng của với bản đồ kết cấu. Chúng ta sẽ thảo luận về ba trong số các phương pháp phổ biến hơn: nội suy song tuyến, ánh xạ mipmapping và siêu lấy mẫu ngẫu nhiên.

Nội suy các pixel bản đồ kết cấu. Một cách tương đối dễ dàng để giải quyết các vấn đề xảy ra khi độ phân giải màn hình giống với độ phân giải bản đồ kết cấu là nội suy song tuyến các giá trị màu từ một số pixel bản đồ kết cấu và sử dụng màu trung bình thu được cho pixel màn hình. Điều này được thực hiện bằng cách tìm tọa độ kết cấu s và t chính xác cho các pixel màn hình, định vị bốn pixel trong bản đồ kết cấu gần nhất với s , t & vị trí của bản đồ kết cấu và sử dụng phép nội suy song tuyến để tính giá trị trung bình có trọng số của bốn bản đồ kết cấu màu sắc pixel.

Đối với trường hợp độ phân giải của bản đồ kết cấu lớn hơn đáng kể (ví dụ: lớn hơn gấp đôi) so với độ phân giải màn hình, thì người ta có thể sử dụng nhiều hơn chỉ bốn pixel từ bản đồ kết cấu để tạo thành màu trung bình để hiển thị trên màn hình. Thật vậy, từ quan điểm lý thuyết, đây ít nhiều chính xác là những gì bạn muốn làm: cụ thể là tìm vùng của bản đồ kết cấu tương ứng với một pixel trên màn hình và sau đó tính toán màu trung bình của các pixel trong đó vùng, chú ý đến mức trung bình thích hợp theo các phần nhỏ của pixel nằm trên ranh giới của vùng. Tuy nhiên, đây có thể là một quá trình có thể tốn kém, vì vậy thay vào đó, người ta thường sử dụng 'mipmapping' để tính toán trước một số màu trung bình.

Lập bản đồ. Thuật ngữ "mipmapping" được đặt ra bởi Williams [124], người đã giới thiệu nó như một kỹ thuật tính toán trước các bản đồ kết cấu với độ phân giải giảm, nói cách khác, là kỹ thuật "mức độ chi tiết" (LOD). Thuật ngữ "mip" là từ viết tắt của một cụm từ tiếng Latinh, *multum in parvo*, hoặc "nhiều trong một". Mipmapping cố gắng tránh các vấn đề nảy sinh khi hiển thị bản đồ kết cấu có độ phân giải lớn hơn màn hình bằng cách tính toán trước một nhóm bản đồ kết cấu có độ phân giải thấp hơn và luôn hiển thị bản đồ kết cấu có độ phân giải phù hợp nhất với độ phân giải màn hình.

Cách thông thường để tạo họa tiết mipmap là bắt đầu với một bản đồ họa tiết có độ phân giải cao có kích thước $N \times M$. Thật tiện lợi khi giả sử rằng N và M là lũy thừa của hai. Sau đó, tạo bản đồ kết cấu độ phân giải giảm có kích thước $(N / 2) \times (M / 2)$ bằng cách lấy pixel ở hàng i , cột j trong bản đồ kết cấu độ phân giải giảm được cung cấp giá trị trung bình của bốn pixel nằm trong hàng $2i$ và $2i + 1$ và trong cột $2j$ và $2j + 1$ của bản đồ kết cấu ban đầu. Sau đó, áp dụng đệ quy quy trình này thường xuyên nếu cần để có được bản đồ kết cấu độ phân giải giảm xuống có độ phân giải thấp tùy ý.

Khi một pixel màn hình được vẽ bằng bản đồ kết cấu, thì nó có thể được vẽ bằng một pixel từ phiên bản ánh xạ của bản đồ kết cấu có độ phân giải không lớn hơn độ phân giải của màn hình. Vì vậy, khi kết cấu được ánh xạ object được nhìn từ xa, một mipmap có độ phân giải thấp sẽ được sử dụng; ngược lại, khi xem cận cảnh, phiên bản có độ phân giải cao sẽ được sử dụng. Cái này

sẽ loại bỏ nhiều vấn đề răng cưa, bao gồm hầu hết các vấn đề với nhấp nháy và nhấp nháy. Tuy nhiên, có thể xảy ra vấn đề khi khoảng cách từ người xem đến bề mặt được ánh xạ họa tiết thay đổi, vì việc chuyển từ phiên bản mipmap này sang phiên bản mipmap khác có thể gây ra hiện tượng “bật” hoặc “nhảy” trong giao diện của bản đồ họa tiết. Phần lớn có thể tránh được điều này bằng cách kết xuất pixel bằng hai phiên bản mipmap gần nhất với độ phân giải màn hình và nội suy tuyến tính giữa các kết quả của hai bản đồ kết cấu.

Một lợi ích phụ tuyệt vời của việc sử dụng mipmap là nó có thể cải thiện đáng kể việc sử dụng bộ nhớ, miễn là các phiên bản mipmap của bản đồ kết cấu được quản lý đúng cách. Thứ nhất, nếu mỗi phiên bản mipmap được hình thành bằng cách giảm một nửa kích thước pixel của mipmap trước đó, thì tổng không gian được sử dụng bởi mỗi mipmap kế tiếp chỉ bằng một phần tư không gian của mipmap trước đó. Từ

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} = 1 \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{64}$$

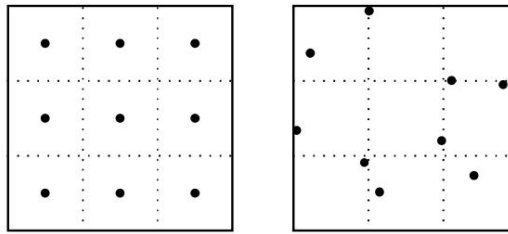
điều này có nghĩa là việc sử dụng mipmap chỉ gây ra 33% chi phí bộ nhớ. Thậm chí tốt hơn, trong bất kỳ cảnh nhất định nào, thường chỉ có tư nguyên đối ít bản đồ kết cấu được xem từ khoảng cách gần, trong khi có thể có nhiều bản đồ kết cấu được xem từ khoảng cách xa. Các bản đồ kết cấu ở xa hơn sẽ được xem ở độ phân giải thấp hơn, vì vậy chỉ những phiên bản mipmap có độ phân giải thấp hơn của chúng mới cần được lưu trữ ở các vị trí bộ nhớ để truy cập hơn (ví dụ: trong bộ nhớ cache hoặc trên chip đồ họa). Điều này cho phép khả năng sử dụng bộ nhớ hiệu quả hơn bằng cách chỉ giữ lại các phiên bản mipmap cần thiết của bản đồ kết cấu; tất nhiên, điều này có thể yêu cầu quản lý bộ nhớ phức tạp.

Một nhược điểm lớn đối với việc lập bản đồ là nó không giải quyết được đầy đủ vấn đề này sinh khi các bề mặt được nhìn nghiêng. Trong trường hợp này, tỷ lệ độ phân giải của bản đồ kết cấu và độ phân giải màn hình có thể khá khác nhau dọc theo các hướng khác nhau của bản đồ kết cấu, do đó, không có phiên bản mipmap nào có thể hoàn toàn phù hợp. Vì chế độ xem xiên có thể đến từ bất kỳ hướng nào, không có cách nào tốt để tạo đủ mipmap để đáp ứng tất cả các hướng xem.

VI.1.4 Siêu lấy mẫu ngẫu nhiên

Thuật ngữ supersampling đề cập đến việc hiển thị hình ảnh ở mức độ phân giải subpixel, sau đó lấy trung bình trên nhiều subpixel để thu được giá trị màu cho một pixel. Kỹ thuật này có thể được điều chỉnh để giảm răng cưa với bản đồ kết cấu bằng cách kết hợp nó với phương pháp lấy mẫu ngẫu nhiên hoặc ngẫu nhiên.

Ý tưởng cơ bản của siêu lấy mẫu phi ngẫu nhiên như sau. Đầu tiên, chúng tôi chia mỗi pixel thành các subpixel; Vì lợi ích của cuộc thảo luận, chúng tôi giả sử mỗi pixel được chia thành 9 pixel con, nhưng số lượng pixel con khác có thể được sử dụng để thay thế. Chín subpixel được sắp xếp trong một mảng 3 × 3 các pixel phụ hình vuông. Chúng tôi kết xuất hình ảnh như bình thường vào các subpixel, giống như chúng tôi thường kết xuất hình ảnh cho pixel, nhưng sử dụng độ phân giải gấp ba lần. Cuối cùng, chúng tôi lấy giá trị trung bình của các kết quả cho chín pixel và sử dụng mức trung bình này cho màu pixel tổng thể.



Hình VI.7: Trong hình đầu tiên, chín điểm siêu mẫu được đặt ở tâm của chín điểm phụ. Trong hình thứ hai, các điểm siêu mẫu được lấp ghép, nhưng bị hạn chế ở bên trong subpixel của chúng.

Siêu lấy mẫu không ngẫu nhiên gấp chín lần có thể hữu ích trong việc giảm các vấn đề răng cưa bản đồ kết cấu hoặc ít nhất là trì hoãn sự khởi đầu của chúng cho đến khi độ phân giải của bản đồ kết cấu cao gấp khoảng 3 lần độ phân giải của pixel màn hình. Tuy nhiên, nếu bản đồ kết cấu có chứa các mẫu đặc trưng hoặc màu sắc thông thường, thì ngay cả với siêu lấy mẫu cũng có thể có các hiệu ứng nhiễu đáng kể.

Phương pháp siêu lấy mẫu có thể được cải thiện hơn nữa bằng cách sử dụng phương pháp siêu lấy mẫu ngẫu nhiên. Ở dạng đơn giản nhất, siêu lấy mẫu ngẫu nhiên chọn các điểm ở các vị trí ngẫu nhiên bên trong pixel, tính toán màu hình ảnh tại các điểm, sau đó tính trung bình các màu để đặt giá trị màu cho pixel. Điều này có thể gây ra các giá trị không đại diện cho giá trị trung bình nếu các điểm được đặt ngẫu nhiên được nhóm lại kém và có thể thu được kết quả tốt hơn bằng cách sử dụng phương pháp jitter để chọn các điểm siêu lấy mẫu. Phương pháp jitter hoạt động như sau: Ban đầu, các điểm siêu mẫu được phân phối đồng đều trên pixel. Sau đó, mỗi điểm siêu mẫu là 'lộn xộn', tức là, vị trí của nó bị xáo trộn một chút. Một cách phổ biến để tính toán jitter trên chín điểm siêu mẫu là chia pixel thành một mảng 3×3 các pixel phụ hình vuông, sau đó đặt ngẫu nhiên một điểm siêu mẫu vào mỗi pixel phụ. Điều này được minh họa trong Hình VI.7.

Điều quan trọng là vị trí của các điểm siêu lấy mẫu phải được thay đổi độc lập cho từng pixel; nếu không, các mẫu giao thoa vẫn có thể hình thành.

Jittering không thường được sử dụng để lập bản đồ kết cấu thông thường, nhưng thường được sử dụng để khử răng cưa trong môi trường không theo thời gian thực, chẳng hạn như hình ảnh tia. Hình X.9 trên trang 359 cho thấy một ví dụ về hiện tượng nhấp nháy chậm trong dò tia. Nó hiển thị ba quả bóng hồ bơi trên một kết cấu bàn cờ; phần (a) không sử dụng supersampling, trong khi phần (b) thì có. Lưu ý sự khác biệt trong kiểu bàn cờ đối với đường chân trời ở các cạnh của hình ảnh.

Jittering và các dạng siêu lấy mẫu ngẫu nhiên khác làm giảm răng cưa, nhưng với cái giá là tăng nhiễu trong hình ảnh thu được. Tiếng ồn này thường biểu hiện dưới dạng hạt giống như những gì được nhìn thấy trong một bức ảnh được chụp ở mức ánh sáng quá thấp. Có thể giảm tiếng ồn bằng cách sử dụng số lượng điểm siêu mẫu cao hơn.