

Xem các cuộc thảo luận, số liệu thống kê và hồ sơ tác giả cho ấn phẩm này tại: <https://www.researchgate.net/publication/252198576>

Mô hình hóa quang học mô bằng Monte Carlo modeling: một hướng dẫn - nghệ thuật. Không. 68540T

Bài báo trong Kỷ yếu của SPIE - Hiệp hội Kỹ thuật Quang học Quốc tế · Tháng 3 năm 2008

DOI: 10.1117 / 12.776997

CÔNG TÁC

14

BÀI ĐỌC

2.077

1 tác giả:



[Steven L Jacques](#)

Đại học Khoa học và Sức khỏe Oregon

540 CÔNG BỐ 21.176 CÔNG TÁC

XEM HỒ SƠ

Một số tác giả của ấn phẩm này cũng đang thực hiện các dự án liên quan này:



Công việc luận văn của Cornell Xem Kế hoạch



Phép đo oxy mô siêu phổ Xem Kế hoạch

Mô hình hóa quang học mô sử dụng mô hình Monte Carlo: một hướng dẫn

Steven L. Jacques^{a, b}

^a Kỹ thuật Y sinh, Đại học Khoa học & Sức khỏe Oregon, 3303 SW Bond St., Portland, OR, 97239

^b Da liễu, Đại học Khoa học & Sức khỏe Oregon, 3303 SW Bond St., Portland, OR, USA 97239

TRƯỜNG TƯỢNG

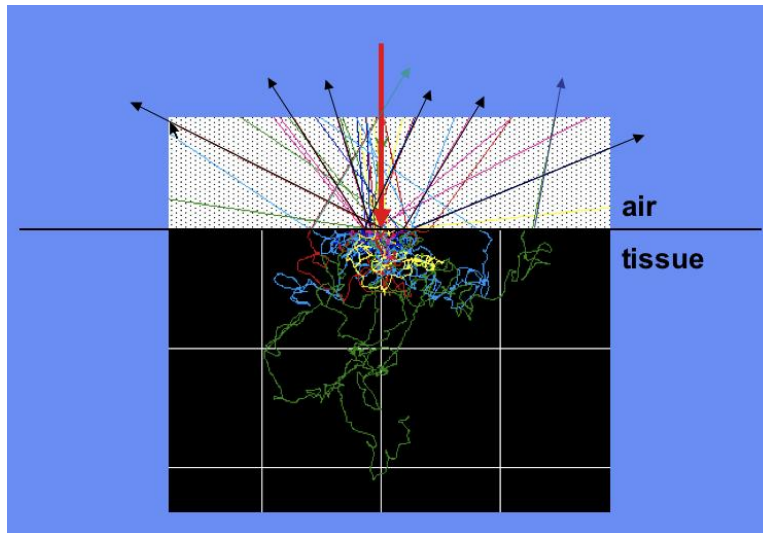
Phần giới thiệu ngắn gọn về mô hình Monte Carlo trạng thái ổn định và phân giải theo thời gian được trình bày. Các phương pháp mô phỏng Monte Carlo trạng thái ổn định và phân giải theo thời gian của quỹ đạo photon trong một mô được trình bày. Một ví dụ mô phỏng bằng cách sử dụng Monte Carlo Multi-Layered (mcml) thể hiện sự phân bố không gian của sự lắng đọng năng lượng và tốc độ lưu huỳnh trong một mô nhiều lớp với các đặc tính quang học khác nhau (hấp thụ, giảm tán xạ) trong mỗi lớp.

Từ khóa: Monte Carlo, di chuyển photon, chẩn đoán hình ảnh vận chuyển quang học, đo liều

1. GIỚI THIỆU

Mô phỏng Monte Carlo cho thấy chuyển động dự kiến của các photon riêng lẻ, được coi như các hạt ánh sáng hoạt động theo các hàm mật độ xác suất nhất định đối với chuyển động của chúng. Hình 1 cho thấy 25 photon truyền vào một mô. Một số photon kết thúc do sự hấp thụ. Nhiều người khác thoát khỏi mô dưới dạng phản xạ có thể quan sát được.

Mô phỏng Monte Carlo cung cấp một cách tiếp cận linh hoạt đối với sự vận chuyển ánh sáng để tạo ra bản đồ phân bố ánh sáng trong các mô được tạo ra bởi một tia laser xung hoặc liên tục hoặc một nguồn sáng thay thế. Báo cáo này thảo luận về các phương pháp mô phỏng Monte Carlo trạng thái ổn định và trạng thái ổn định của quỹ đạo photon trong một mô. Một ví dụ mô phỏng bằng cách sử dụng Monte Carlo Multi-Layered (mcml) thể hiện sự phân bố không gian của sự lắng đọng năng lượng và tốc độ lưu huỳnh trong một mô nhiều lớp với các đặc tính quang học khác nhau (hấp thụ, giảm tán xạ) trong mỗi lớp.



Hình 1. Mô phỏng Monte Carlo của 25 photon đỏ (630 nm) lan truyền trong mô thực quản sau khi phóng ra dưới dạng tia chuẩn trực hướng vuông góc với bề mặt mô tại điểm gốc (mũi tên đỏ) .. Lưới hiển thị các khoảng cách 5-mm. Một số photon kết thúc do sự hấp thụ. Nhiều photon thoát ra dưới dạng phản xạ có thể quan sát được.

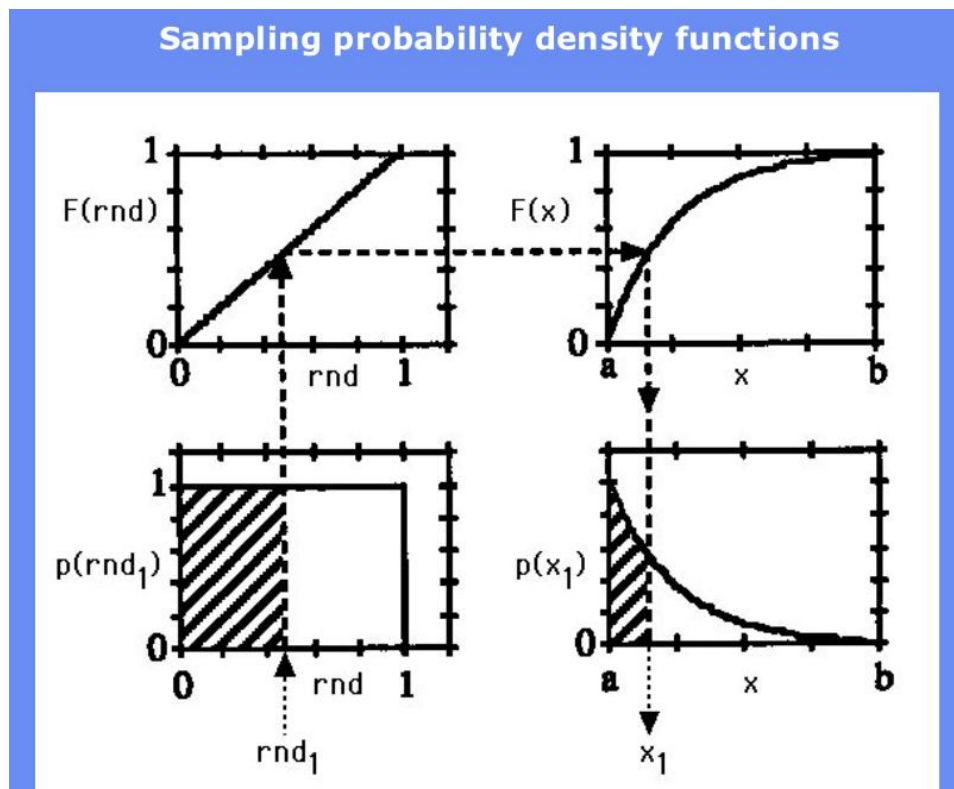
2. MONTE CARLO LẤY MẪU CHỨC NĂNG MẬT ĐỘ KHẢ NĂNG

Monte Carlo là một phương pháp chung để lấy mẫu hàm mật độ xác suất, $p(x)$. $P(x)$ có thể là hàm mật độ xác suất cho kích thước bước của (các) photon, cho góc lệch (θ) hoặc cho góc phương vị của tán xạ (θ).

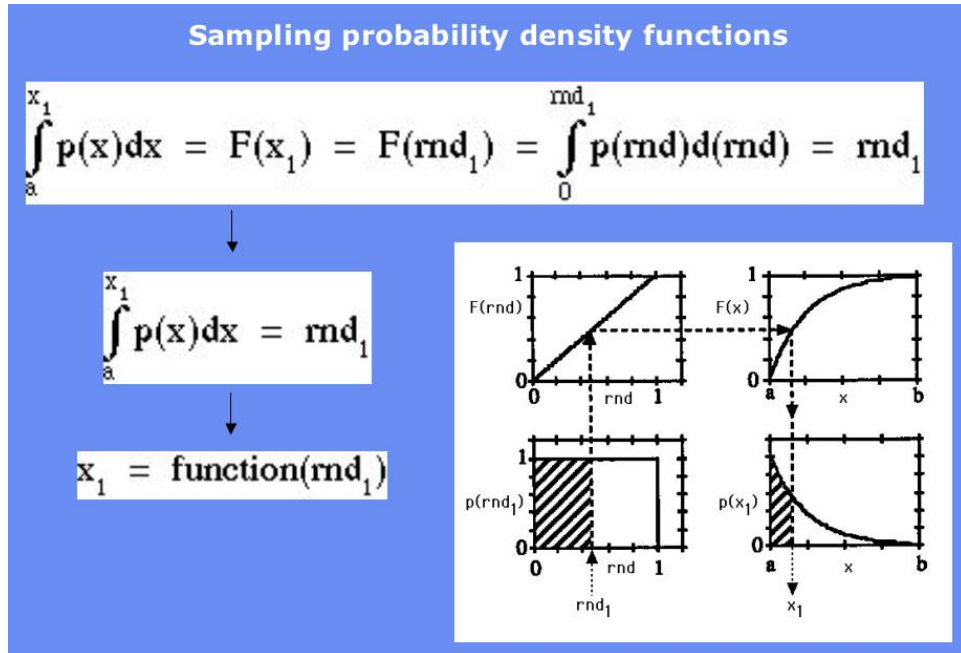
Xét $p(x)$ trong đó x là một số biến nằm giữa a và b (xem Hình 2). Tích phân của $p(x)$ từ $x = a$ thành $x = x_1$ mang lại hàm phân phối xác suất $F(x_1)$.

Ở phía bên trái của Hình 2, hàm $p(\text{RND}) = 1$ trong phạm vi $x = 0$ đến 1 . Do đó, $F(\text{RND}_1) = \text{RND}_1$.

Phương pháp Monte Carlo bao gồm bằng $F(\text{RND}_1) = F(x_1)$, và sắp xếp lại phương trình để giải cho x_1 xét về RND_1 . Sau đó, máy tính có thể chọn RND_1 , trong đó $0 < \text{RND}_1 < 1$ và chỉ định x_1 .



Hình 2. Lấy mẫu Monte Carlo của hàm mật độ xác suất $p(x)$. Một sự lựa chọn của rnd_1 được ánh xạ qua $F(x_1) = \text{rnd}_1$ dự đoán x_1 .



Hình 3. Lấy mẫu Monte Carlo của hàm mật độ xác suất $p(x)$. Một sự lựa chọn của rnd_1 được ánh xạ qua $F(x_1) = rnd_1$ dự đoán x_1 .

3. MONTE CARLO STEADY-STATE

Một chương trình Monte Carlo trạng thái ổn định đơn giản (mc321.c) có sẵn tại

<http://omlc.orgi.edu/classroom/ece532/class4/ssmc/mc321.c>

<http://omlc.orgi.edu/software/mc/mc321.c>

Chương trình này chứng minh sự lan truyền của các photon theo từng bước kích thước giữa các vị trí tương tác giữa photon và mô bằng cách hấp thụ hoặc tán xạ. Kích thước bước là

$$S = \frac{\ln(RND)}{\mu_s + \mu_a} \quad (1)$$

Quy tắc lan truyền trạng thái dừng được tóm tắt trong hình 4. Photon được phóng ra với trọng lượng ban đầu $W = 1$. Sau khi photon bước tới bước tiếp theo *sự tương tác* điểm, một phân số $(1 - a)$ trọng lượng được gửi vào thùng cục bộ, $A(ir, iz) = (1 - a) W$ hoặc là $A(ir, iz)$ hoặc là $A(iz)$ hoặc bất kỳ chương trình binning nào được chọn. Photon giữ lại một phần a trọng lượng, $W = a W$. Việc phân loại rác có thể theo bất kỳ định dạng mong muốn nào, ví dụ:

$A(ix, iy, iz)$	Lưới Descartes 3D	$V(ix, iy, iz) = dx dy dz$	$V(ir) = 4 r^2 dr$
Không khí)	Lưới đối xứng hình cầu 1D	Lưới đối xứng hình cầu 2D	
$A(ir, iz)$	Lưới phẳng 1D		$V(ir) = 2 r dr dz$
$A(iz)$			$V(ir) = (1 \text{ cm}^2) dz$

Ở đây a là albedo của mô:

$$a = \frac{\mu_s}{\mu_s + \mu_a} \quad (2)$$

Sau khi lan truyền nhiều photon, N_{photon} , thường là 10^4 đến 10^7 photon, dãy $A(ir, iz)$ chứa đầy khối lượng photon. Mỗi phần tử trong mảng được chuẩn hóa để mang lại *một phần của tổng trọng lượng photon được phân phối gửi trên một đơn vị thể tích dựa trên trọng lượng photon được tích tụ trong phần tử đó*:

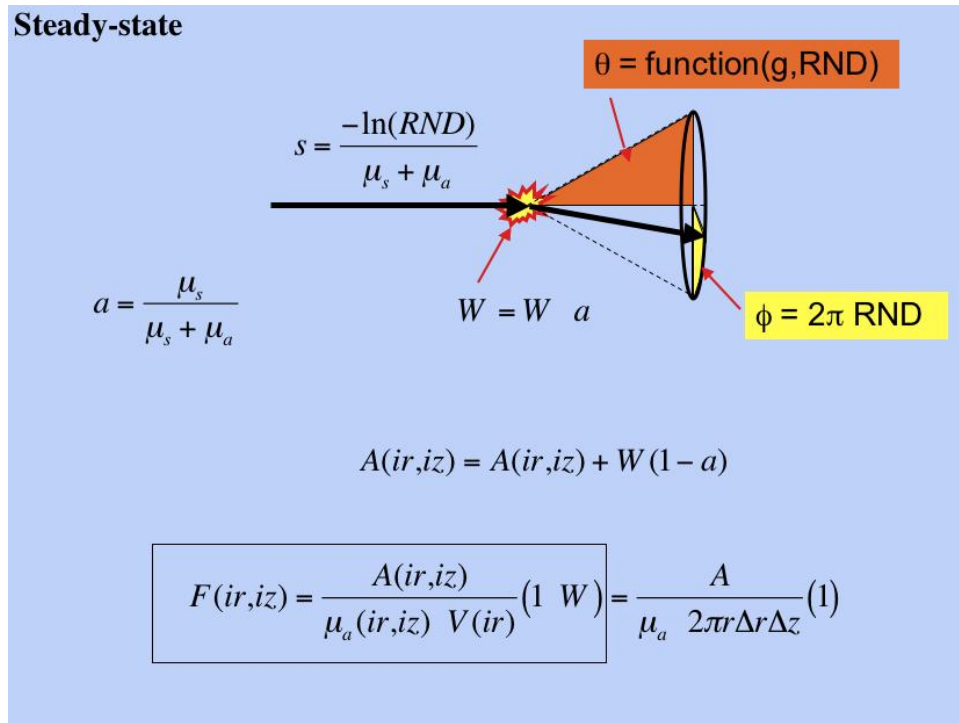
$$A(ir, iz) = \frac{A(ir, iz)}{N_{\text{photon}} V(ir, iz)} \quad (3)$$

Giá trị cuối cùng của $A(ir, iz)$ tính bằng đơn vị $[1 / \text{cm}^3]$. Giá trị của $V(ir, iz)$ phụ thuộc vào dạng hình học, như đã mô tả ở trên đối với các dạng ghi khác nhau.

Tỷ lệ lưu loát tương đối $F(ir, iz) [1 / \text{cm}^2] = [W / \text{cm}^2 \text{ mỗi } W \text{ được phân phối}]$ được tính:

$$F(ir, iz) = \frac{A(ir, iz)}{\mu_a(ir, iz) N_{\text{photon}} V(ir, iz)} \quad (4)$$

Ở đây $\mu_a(ir, iz)$ là hệ số hấp thụ cục bộ $[\text{cm}^{-1}]$ trong thùng (ir, iz) .



Hình 4. Monte Carlo trạng thái ổn định.

4. MONTE CARLO GIẢI QUYẾT THEO THỜI GIAN

Một chương trình Monte Carlo đơn giản được giải quyết về thời gian (trmc.c) có sẵn tại

<http://omlc.orgi.edu/classroom/ece532/class4/trmc/trmc.c>

<http://omlc.orgi.edu/software/mc/trmc.c>

Chương trình này chứng minh sự lan truyền của các photon bằng cách di chuyển photon cho đến khi photon đạt đến một thời điểm mong muốn, t của hàng nhanh, để lưu trữ ảnh chụp nhanh về sự phân bố photon. Photon thực hiện các bước có kích thước bước giữa các vị trí của *tán xạ*. Kích thước bước là

$$s = \frac{\ln(RND)}{\mu_s} \quad (5)$$

Quy tắc lan truyền phân giải theo thời gian được tóm tắt trong Hình 5. Photon được phóng ra với trọng lượng ban đầu $W = 1$, trọng lượng này không bao giờ thay đổi. Photon thực hiện nhiều bước cho đến khi bước tiếp theo của nó sẽ vượt qua tổng cường độ đường đi $L = ct$ của hàng bán lẻ. Khi đó xảy ra, photon thực hiện một bước để đạt được tổng cường độ đường đi ct của hàng bán lẻ. Thùng cục bộ, $C(ir, iz)$, được cập nhật là $C(ir, iz, 1) = C(ir, iz, 1) + 1$. Sau đó, photon hoàn thành bước đầy đủ của nó và tiếp tục lan truyền cho đến khi đạt đến mốc thời gian mong muốn tiếp theo. Tại thời điểm đó một lần nữa một bước được thực hiện và mảng $C(ir, iz, 2)$ được cập nhật. Điều này lặp lại, tạo ra một tập hợp $C(ir, iz, it)$ trong đó nó biểu thị một trong những thời điểm quan tâm.

Sau khi lan truyền nhiều photon, N_{photon} , mảng $C(ir, iz, it)$ chứa đầy các photon. Mỗi phần tử trong mảng được chuẩn hóa để mang lại *một phần của tổng trọng lượng photon được phân phối gửi trên một đơn vị thể tích* tại thời điểm đó, dựa trên trọng lượng photon được tích tụ trong phần tử đó:

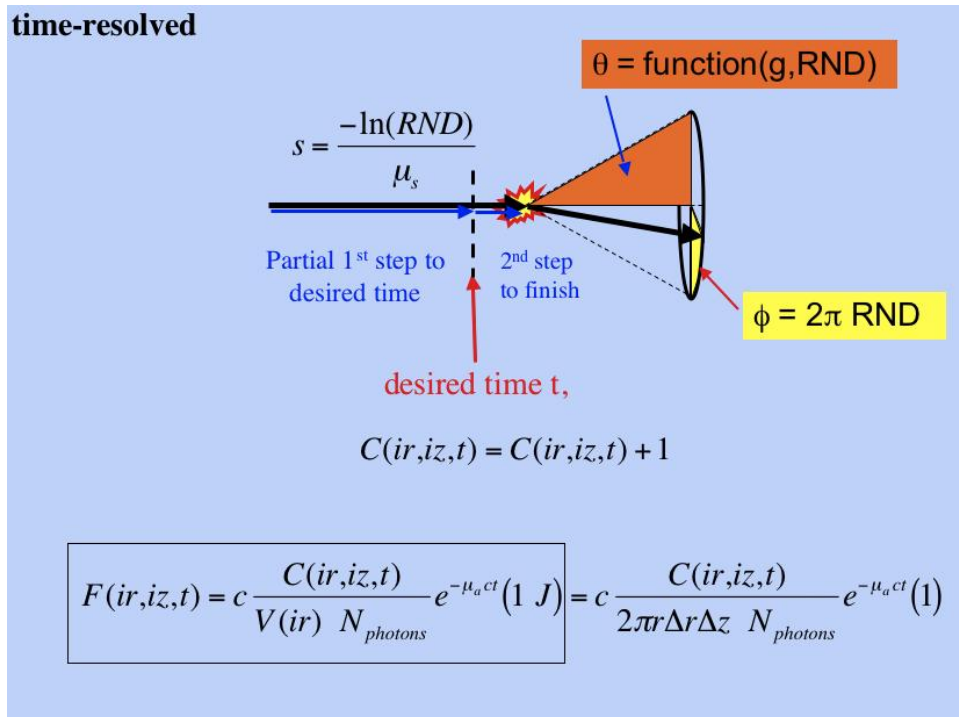
$$C(ir, iz, it) = \frac{C(ir, iz, it)}{N_{\text{photon}} V(ir, iz, it)} \quad (6)$$

Giá trị cuối cùng của $C(ir, iz, it)$, cho mỗi nó thứ tự thời điểm, tính bằng đơn vị $[1 / \text{cm}^3]$.

Tỷ lệ lưu loét tương đối $F(ir, iz) [1 / \text{cm}^2] = [W / \text{cm}^2 \text{ mỗi } W \text{ được phân phối}]$ được tính:

$$F(ir, iz) = c \frac{A(ir, iz)}{N_{\text{photon}} V(ir, iz)} \quad (7)$$

Ở đâu $\mu_a(ir, iz)$ là hệ số hấp thụ cục bộ $[\text{cm}^{-1}]$ trong thùng (ir, iz) .



Hình 5. Monte Carlo phân giải theo thời gian

5. CARLO MONTE NHIỀU TẦNG (MCML)

Một chương trình Monte Carlo xử lý nhiều lớp phẳng, mỗi lớp có đặc tính quang học và độ dày riêng, có sẵn tại

<http://omlc.org/software/mc/index.html>

Chương trình, được viết bằng ANSI Standard C, được chạy dưới dạng chương trình đã biên dịch và sử dụng tệp văn bản đầu vào để chỉ định mô phỏng và tên tệp đầu ra nơi kết quả được ghi lại. Một tệp đầu vào ví dụ được hiển thị trong Bảng 1.

1,0					# Phiên bản tập tin
1					# số lần chạy
example.mco	A				# tên tệp đầu ra, ASCII / Nhị phân
100000					# Số photon
0,010	0,010				# dz, dr cho OUTPUT
100	100	1			# Số thùng, Nz, Nr, Na cho OUTPUT
3					# Số lớp
# n	mua	mus	g	d	# Một dòng cho mỗi lớp
1,00					# n cho phương tiện ở trên.
1.400	0,40	15	0,700	0,1000	
1.400	3,00	260	0,900	0,1000	
1.400	0,05	100	0,900	1,0000	
1,0					# n cho phương tiện bên dưới.

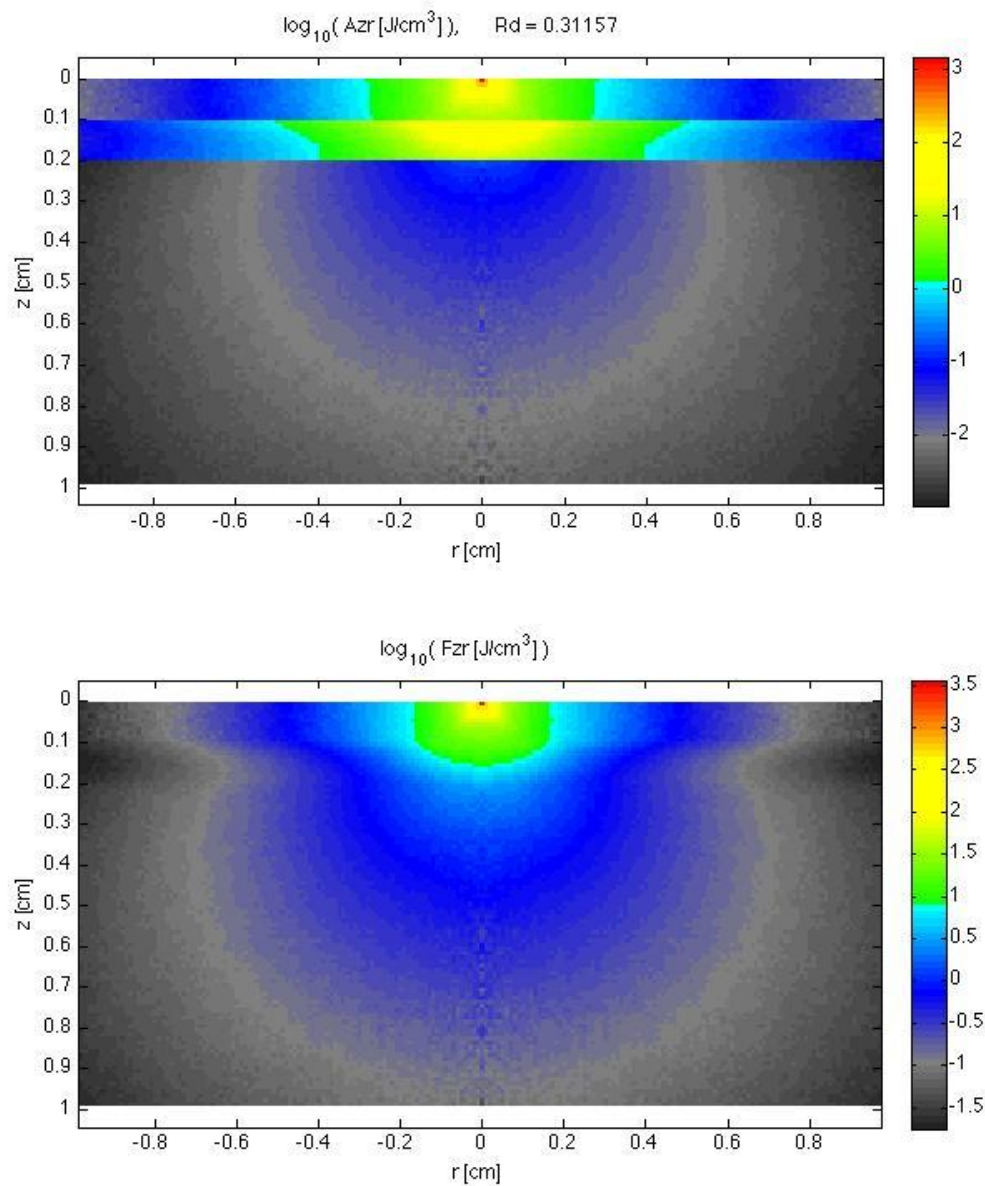
Bản. 1: Ví dụ về tệp đầu vào cho MCML.

Hình 3-5 cho thấy đầu ra từ một mô phỏng MCML sử dụng tệp đầu vào trong Bảng 1. Đầu ra được lưu trữ trong một tệp có tên example.mco dưới dạng tệp ASCII. Lần lượt tệp này được đọc bởi chương trình MATLAB lookmcml.m (và chương trình con getmcml.m) đọc tệp đầu ra và chuẩn bị các Hình. 3-5, sử dụng bản đồ màu được tạo bởi makec2f.m. Các chương trình này có sẵn tại:

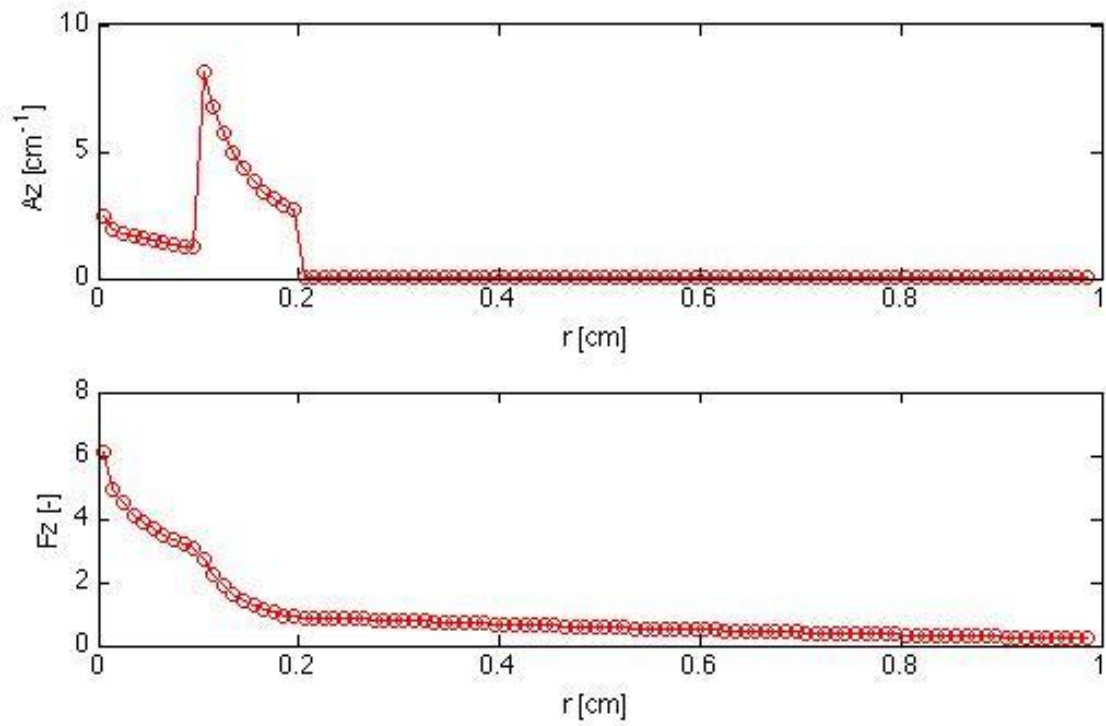
<http://omlc.org/software/mc/lookmcml.m>

<http://omlc.org/software/mc/getmcml.m>

<http://omlc.org/software/mc/makec2f.m>



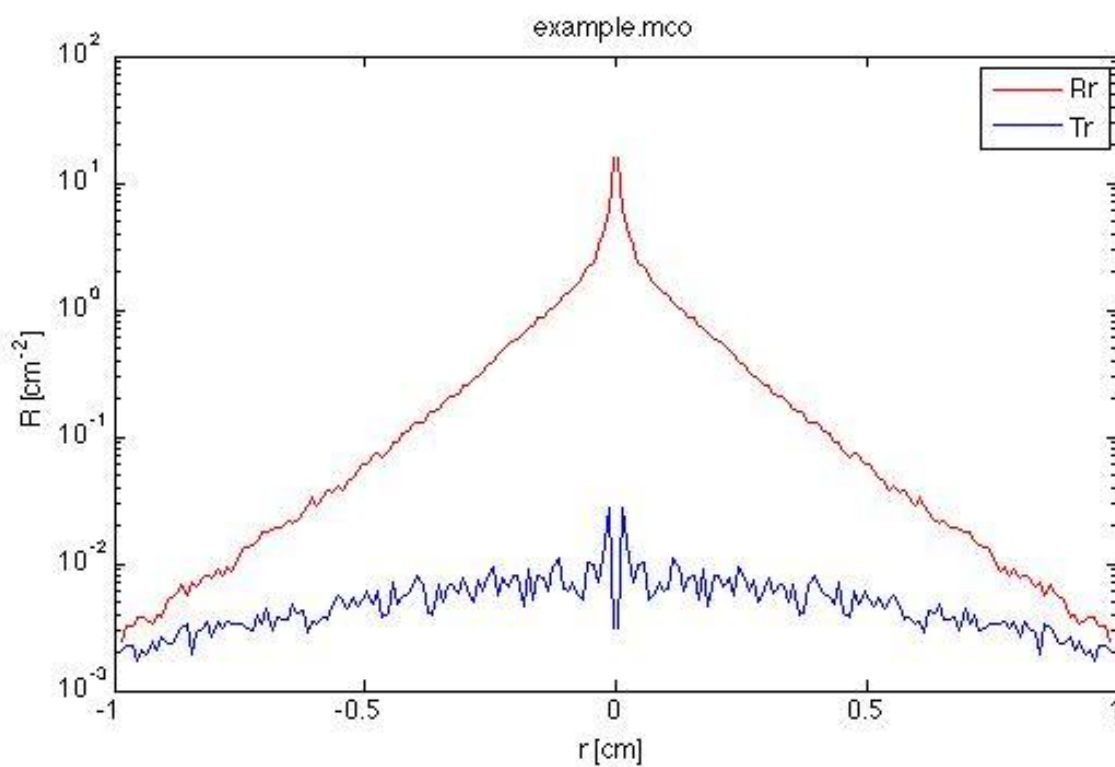
Hình 3. Đầu ra Monte Carlo từ MCML. (TOP) Sự lắng đọng năng lượng $A(z, r)$ [W / cm^3 mỗi W được phân phối]. (ĐÁP ÁN) Tỷ lệ lưu loát $F(z, r)$ [W / cm^2 mỗi W được phân phối]. Ánh sáng được phân phối như một nguồn điểm của ánh sáng chuẩn trực tại $r = 0, z = 0$. Thanh màu là thang độ nhật ký. Lưu ý cách $A(z, r)$ không liên tục tại ranh giới giữa các lớp có hệ số hấp thụ khác nhau, trong khi $F(z, r)$ là liên tục.



Hình 4. Đầu ra Monte Carlo của MCML cho thấy sự lắng đọng năng lượng 1-D $A(z)$ [cm^{-1}] và tỷ lệ lưu loát $F(z)$ [không thứ nguyên] để phản ứng với chùm ánh sáng rộng [W / cm^2], thu được bằng cách tích phân $A(z, r)$ và $F(z, r)$ trên tất cả r ở mỗi độ sâu z .

$$A(z) = \int_r A(z, r) 2\pi r dr$$

$$F(z) = \int_r F(z, r) 2\pi r dr$$



Hình 5. Đầu ra Monte Carlo từ MCML, cho thấy hệ số phản xạ phân giải theo không gian (R_r [cm⁻²]) và độ truyền (T_r [cm⁻²]) như một hàm của vị trí xuyên tâm r [cm].