

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОХОДЖЕННЯ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В БІОТКАНИНАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі проведено імітаційне моделювання проходження оптичного випромінювання крізь біотканину за допомогою методу Монте-Карло.

Ключові слова: моделювання; метод Монте-Карло; біотканина.

Abstract

The simulation modeling of the passage of optical radiation through a bioassay using the Monte Carlo method was performed in this work.

Key words: simulation; Monte-Carlo method; biotissue.

Актуальність: Застосування в медичній практиці експериментів з використанням оптичного випромінювання викликає певні труднощі, оскільки виникає необхідність в розробці моделей, що можуть достовірно описувати розповсюдження світла в біологічних тканинах. Так як аналітичні рішення задач розповсюдження світла в біологічних середовищах досить складно отримати, для цього використовуються чисельні методи, серед яких одним із універсальних методів є метод Монте-Карло. Моделі на основі даного методу легко реалізуються і є досить гнучкими, що дозволяє проводити дослідження в складних тканинах [1-6, 11-13].

Метод: Суть методу полягає в моделюванні випадкових траєкторій фотонів в середині досліджуваного зразка. Кожна траєкторія складається із відрізків вільного пробігу фотонів та точок взаємодії їх з речовиною. На всьому оптичному шляху фотони можуть поглинатися, розсіюватися, а також відбиватися від межі поділу двох середовищ. Для врахування поглинання фотону присвоюється певна вага, що зменшується до тих пір, поки фотон повністю не поглинеться. При розсіюванні визначається новий напрямок руху фотона із врахуванням фазової функції та випадкового числа. Рух фотона продовжується до тих пір, поки він не поглинеться, або не вийде за межі середовища

Розглянемо детально алгоритм моделювання, який складається з 8 основних кроків:

1. Генерація середовища (задаються основні його параметри).
2. Генерація фотона. Кожному фотону присвоюється початкова енергія $W_0=1$.
3. Програма генерує довільне значення кута розходження світлодіода α в межах константи кута розходження.
4. Фотон попадає на межу поділу двох середовищ. Після запуску фотона, якщо показник заломлення тканини і показник заломлення зовнішнього середовища відрізняються, і дорівнюють n_0 і n_1 відповідно, має місце дзеркальне відбиття, що визначається за формулою [3, 6]:

$$R_{дз} = \frac{(n_0 - n_1)^2}{(n_0 + n_1)^2}. \quad (1)$$

В результаті проходження через границю поділу двох середовищ, енергія фотона зменшується: $W = W_0 - R_{дз} = 1 - R_{дз}$.

5. Генерація траєкторії. Для цього визначається довжина вільного пробігу L фотона, тобто відстань до першого зіткнення в середовищі:

$$L = -l_{\text{сер}} \cdot \ln(1 - \xi), \quad (2)$$

де $l_{\text{сер}}$ – середня довжина вільного пробігу фотона, $l_{\text{сер}} = 1/\mu_t$. ($\mu_t = \mu_a + \mu_s$ – коефіцієнт послаблення середовища);

$\xi = \text{rand}(0,1)$ – випадкове число, яке генерує комп'ютер за допомогою генератора випадкових чисел на інтервалі $(0,1)$. [6]. ξ описується за допомогою функції густини ймовірності [5, 8-11]:

$$\int_a^x p(x) dx = \xi \text{ для } \xi \in (0,1). \quad (3)$$

Після чого визначається новий напрямок руху фотона (рис. 3), тобто кут його відхилення θ ($0 \leq \theta \leq \pi$) в результаті розсіювання за допомогою фазової функції Хені-Грінштейна [6, 7]:

$$P(\cos\theta) = \frac{1 - g^2}{2(1 + g^2 - 2g\cos\theta)^{3/2}}, \quad (4)$$

де g – фактор анізотропії, що дорівнює $\cos\theta$ і приймає значення від -1 до 1. Значення близькі до 0 – вказують на ізотропічне розсіювання а значення близькі до 1 вказують на пряме розсіювання. [7]. Використовуючи (3) і (4):

$$\theta = \arccos\left(\frac{1 + g^2 - ((1 - g^2)/(1 - g + 2g\xi))^2}{2g}\right). \quad (5)$$

6. Поглинання. В результаті проходження крізь непрозоре середовище вага фотона постійно зменшується за рахунок таких ефектів як поглинання та частково розсіювання. Для врахування цих ефектів використовується відношення коефіцієнта поглинання μ_a до коефіцієнта послаблення μ_t . Тому, енергія фотона зменшується на величину:

$$\Delta W = (\mu_a / \mu_t) \cdot W \quad (6)$$

В результаті ми отримуємо нову енергію фотона $W_1 = W - \Delta W$.

7. Слід зазначити, що якщо сумарна висота пробігу фотона в шарві більша за висоту шару, то ми розраховуємо подвійну втрату енергії:

$$W = W_0 - R_{\text{дз}}, \text{ а потім } \Delta W = (\mu_a / \mu_t) \cdot W.$$

8. Пункти 5-8 повторюються до тих пір, поки фотон не вийде за межі середовища, або не поглинеться.

Висновки: Розроблена імітаційна модель проходження фотонів на основі відомих методів Монте-Карло дозволяє визначати глибину проникнення фотонів та інтенсивність випромінювання в різних шарах біотканини. На відміну від відомих методів нами було враховано ефект повного внутрішнього відбиття на межі поділу двох середовищ що дає достовірніші результати моделювання, а також враховано втрату енергії фотона за рахунок поглинання з використанням відношення коефіцієнта поглинання μ_a до коефіцієнта послаблення μ_t . Крім того, розроблена нами модель дозволяє підраховувати кількість фотонів, що пройшли крізь середовище, кількість поглинутих та кількість розсіяних фотонів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz// Information Technology in Medical Diagnostics . London, July 11, 2017 by Taylor &Francis Group CRC Press Reference - 210 Pages.
2. Vassilenko, S Valtchev, JP Teixeira, S Pavlov. Energy harvesting: an interesting topic for education programs in engineering specialities / «Internet, Education, Science» (IES-2016) – 2016. – P. 149-156.
3. Zenon Gotra, Roman Golyaka, Sergii Pavlov, Sergii Kulenko. High resolution differential thermometer. Technology and Design in Electronic Apparatuses. – 2009, № 6. - P. 19-23.

4. Physical principles of biomedical optics: monograph / [S.V. Pavlov, V.P. Kozhemiako, P.F. Kolesnik et al.]. - Vinnytsya: VNTU, 2010. - 152 p.
5. Photoplethysmographic technologies of the cardiovascular control / [Pavlov S.V., Kozhemiako V.P., Petruk V.G., Kolesnik P.F.]. - Vinnitsa: Universum-Vinnitsa, 2007. - 254 p.
6. A simulation model of distribution of optical radiation in biological tissues / S.V. Pavlov, S.E. Tuzhanskyy,
7. T.I. Kozlovska, A.V. Kozak // Visnyk VNTU. - 2011. - №3. - P. 191-195.
8. Calibration of the metrological characteristics of photoplethysmographic multispectral device for diagnosis the peripheral blood circulation / Sergii V. Pavlov, Tatiana I. Kozlovska and etc. // Przegląd Elektrotechniczny. - 2017. - R. 93 NR 5. – P. 79 – 82.
9. Analysis of microcirculatory disorders in inflammatory processes in the maxillofacial region on based of optoelectronic methods / Pavlov, S.V., Barylo, A.S., Kozlovska, T.I. and etc. // Przegląd Elektrotechniczny. - 2017. - R. 93 NR 5. – P. 114 -117.
10. S. V. Pavlov; S. V. Sander; T. I. Kozlovska; A. S. Kaminsky; W. Wojcik, et al. Laser photoplethysmography in integrated evaluation of collateral circulation of lower extremities, Proc. SPIE 8698, Optical Fibers and Their Applications 2012, 869808 (January 11, 2013).
11. Tetyana I. Kozlovska, Peter F. Kolisnik, Sergey M. Zlepko, and etc. "Physical-mathematical model of optical radiation interaction with biological tissues", Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017, 104453G (7 August 2017)
12. Sergii M Zlepko, Sergii V Sander, Tatiana I Kozlovska, Volodymyr Pavlov. Analysis of the vascular tone and character of the local blood flow to assess the viability of the body using the photoplethysmographic device // Przegląd Elektrotechniczny. - 2017. - R. 93 NR 5. – P. 92-95.
13. Tetyana I. Kozlovska, Sergii V. Sander, Sergii M. Zlepko and etc. "Device to determine the level of peripheral blood circulation and saturation", Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016, 100312Z (28 September 2016)
14. Sergii V. Sander, Tatiana I. Kozlovska and etc. "Laser photoplethysmography in integrated evaluation of collateral circulation of lower extremities", Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015, 98161K (17 December 2015)

Козловська Тетяна Іванівна - к.т.н, старший викладач, ВНТУ, кафедра загальної фізики, Вінниця, Kozlovska.t.i@gmail.com

Володимир Сергійович Павлов - ст. гр. О-15б, факультет комп'ютерних систем і автоматики

*Tetiana I. Kozlovska - Ph.D, Senior Lecturer, VNTU, Department of General Physics, Vinnytsia
Volodymyr S. Pavlov - Faculty of Computer Systems and Automatics, VNTU, Vinnytsia*