УДК 004.7:538.56:519.25 **doi: 10.26906/SUNZ.2021.1.153**

М. О. Можаєв

Національний науковий центр «Інститут судових експертиз імені М.С. Бокаріуса», Харків, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПТИЧНИХ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. Об'єктом дослідження є методи побудови математичної моделі оптичних каналів передачі інформації в інформаційній системі судової експертизи, предметом дослідження – оптичні канали передачі інформації. Наводяться результати аналізу передачі інформації у інформаційній системі судової експертизи, які встановили, що при використанні оптичних каналах зв'язку найбільші проблеми виникають через неоднорідність середовища поширення. Тому задача організації контролю стану обміну інформації в комп'ютерних мережах інформаційної системи є бузумовна актуальною. Вирішення цієї складної і багатогранної задачі в статті базується на попередніх дослідження, які біли виконані з використанням формалізму континуальних інтегралів (КІ) Феймана .Метою даної статті є удосконалення математичної моделі оптичних каналів передачі інформації в інформаційній системі судової експертизи.В ході дослідження використовуються методи математичної фізики, теорії поля, математичної статистики та теорії ймовірностей, нелінійної оптики, теорії систем. Дані методи були інтегровані в загальний метод, що дозволило удосконалити математичну модель оптичних каналів передачі інформації.Використовуючи аналітичні співвідношення, отримані в попередній статті, були сформульовані рівняння кореляційних функцій, в тому числі, і довільного порядку. Це стало можливим при використанні континуальних інтегралів Феймана. В статті наведено аналіз отриманих рівнянь для деяких часткових умов. У статті встановлено, що використання КІ дозволяє просто записувати як рішення рівнянь будь-якого порядку (хоча звичайно запис рішень у вигляді КІ є перенесенням труднощів з однієї області - рішення рівнянь в приватних похідних в іншу, тому що точно обчислюються КІ лише спеціального виду - гаусові), так і вирази для таких величин, які не можуть бути описані замкнутими рівняннями, уникаючи при цьому введення зайвих параметрів. Складність і труднощі рішення рівнянь для моментів зростає з ростом їх порядку: якщо рівняння навіть для просторових функцій когерентності першого і другого порядків вирішуються в загальному вигляді, то аналітичне рішення рівняння для більш високих моментів отримати вже не вдається. Зазвичай для розчеплення ланцюжка і отримання замкнутих рівнянь для моментів даного порядку приймаються певні статистичні гіпотези про рішення. При формулюванні завдання в терміналах КІ такі статистичні гіпотези проявляються як деякі наближення для подинтегрального виразення, що дозволяє простежити за характером наближень і визначити межі їх застосовності. Таким чином, з'явилася теоретична можливість удосконалення математичної моделі оптичних каналів передачі інформації на основі використання формалізму КІ для отримання рівняння кореляційних функцій.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, інформаційна система судової експертизи, оптичний канал зв'язку, математична модель, континуальний інтеграл, параболічне хвильове рівняння.

.

Вступ

Комп'ютерні системи та комп'ютерні мережі (КМ) в сучасному світі стають визначальними для якості функціонування систем управління і прийняття рішень в різних сферах життєдіяльності людини. Значною мірою це відноситься і до систем критичного застосування, для яких існують суворіші вимоги щодо якості, надійності, достовірності та швидкості передачі інформації. Судово-експертна система «Автоматизована система накопичення емпіричних даних по практиці комп'ютерно-технічних експертиз» може бути віднесена до систем критичного застосування з-за підвищених вимог до методів отримання, обробки, передачі та зберігання інформації, якою оперує дана система. Тому телекомунікаційна мережа ІС судової експертизи повинна забезпечувати дотримання жорстких вимог по підтримці параметрів якості обслуговування (QoS), що в підсумку дозволить всій інформаційній системі вирішити поставлені перед нею завдання [1-18].

Отже, вдосконалення існуючих систем передачі інформації і проектування нових телекомунікаційних систем є важливим фактором підвищення якості обслуговування всієї ІС судової експертизи.

Аналіз літератури. Проблемі забезпечення необхідних показників якості обслуговування (QoS) у комп'ютерних мережах інформаційних систем критичного застосування було присвячено значну кількість робіт [1-18]. У них були визначені основні фактори, які призводять до зниження якості обслуговування в КС. Ці фактори можна розділити на кілька груп:

– фактори, які визначаються структурою і архітектурою КМ;

– фактори, які визначаються принципами управління і перерозподілу обчислювального ресурсу КМ;

– фактори, які визначаються властивостями і параметрами телекомунікаційного обладнання КМ.

Кожному з цих факторів присвячено багато робіт, але в даній статті основну увагу буде приділено останньому фактору.

У роботі [18] було наведено результати теоретичних досліджень щодо можливісті побудови моделі процесу поширення сигналу в оптичному каналі зв'язку за рахунок дослідження просторово-часових і просторово-частотних кореляцій поля хвилі, яка ґрунтуються на використанні формалізму КІ Феймана.

У статті було запропоновано використання формалізму КІ Феймана для вирішення параболічного хвильового рівняння, що описує поширення сигналу в оптичних каналах телекомунікаційної системи та отримано аналітичні співвідношення для середнього поля точкового джерела, що дозволило говорити про теоретичну можливість побудови моделі процесу поширення сигналу в оптичному каналі зв'язку за рахунок дослідження просторово-часових і просторово-частотних кореляцій поля хвилі, яка ґрунтуються на використанні формалізму КІ Феймана.

Але для побудови більш досконалої моделі процесу передачі інформації в оптичних каналах зв'язку необхідно провести аналіз впливу кореляційних функцій передається оптичного сигналу [19-28].

Для вирішення цього завдання в статті також буде використовуватися формалізм континуальних інтегралів Феймана .

Метою даної статті є визначення можливості удосконалення математичної моделі оптичних каналів передачі інформації з використанням методу КІ за рахунок дослідження просторово-часових і просторово-частотних кореляцій поля хвилі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі приватні задачі:

- отримати рівняння кореляційних функцій сигналу;
- отримати рівняння кореляційних функцій сигналу довільного порядку;
- провести аналіз отриманих рівнянь для деяких часткових умов

Результати досліджень

1. Рівняння для кореляційних функцій $\Gamma_{1,1}$

Для отримання $\Gamma_{1,1}$ потрібно усереднити добуток двох функцій Гріна $G_1 G_2^*$, для кожної з яких використовуємо вираз у вигляді КІ [18]. В результаті отримаємо:

$$\Gamma_{1,1}\left(\vec{\rho}_1,k_1,\vec{\rho}_2,k_2,z\right)= = \int \left(\begin{matrix} \exp\left\{ \frac{i}{2}\int_{z_o}^{z} dz'\left[k_1\dot{\vec{\eta}}_1^2\left(z'\right)-k_2\dot{\vec{\eta}}_2^2\left(z'\right)\right]\right\} \\ \Phi\left[\lambda_{1,1}\right] D\vec{\eta}_1\, D\vec{\eta}_2, \end{matrix} \right), \qquad (1)$$

де інтегрування ведеться по двовимірних траєкторіях з граничними умовами $\vec{\eta}_1(z_o)=\vec{\rho}_{o1}$, $\vec{\eta}_2(z_o)=\vec{\rho}_{o2}$, $\vec{\eta}_1(z)=\vec{\rho}_1$, $\vec{\eta}_2(z)=\vec{\rho}_2$, а функція

$$\lambda_{11}\left(\vec{p}',z'\right)=\frac{1}{2}h\left(z'-z_0\right)h\left(z-z'\right)\times \times\left[\begin{matrix} k_1\mu\left(k_1\right)\delta\left(\vec{p}'-\vec{\eta}_1\left(z'\right)\right)- \\ -k_2\mu\left(k_2\right)\delta\left(\vec{p}'-\vec{\eta}_2\left(z'\right)\right)\end{matrix}\right]. \qquad (2)$$

Характеристичний функціонал представляється тоді у вигляді:

$$\Phi\left[\lambda_{1,1}\right]= =\exp\left\{\int_{z_o}^{z} dz'\,\frac{\dot{\theta}_{z'}}{2}\left[\begin{matrix} k_1\mu\left(k_1\right)\delta\left(\vec{\rho}'-\vec{\eta}_1\left(z'\right)\right)- \\ -k_2\mu\left(k_2\right)\delta\left(\vec{\rho}'-\vec{\eta}_2\left(z'\right)\right)\end{matrix}\right]\right\}. \qquad (3)$$

Вираз (1) з урахуванням (3) дає остаточний результат для в формі континуального інтегралу Феймана, з вигляду якого відразу виписується рівняння

$$\left[\begin{matrix} \frac{\partial}{\partial z}+\frac{1}{2i}\left(\frac{1}{k_1}\Delta_{\perp 1}-\frac{1}{k_2}\Delta_{\perp 2}\right) \\ -Q\left(\vec{\rho}_1,\vec{\rho}_2,z;k_1,k_2\right)\end{matrix}\right]\times \times\Gamma_{1,1}\left(\vec{\rho}_1,k_1,\vec{\rho}_2,k_2,z\right)=0, \qquad (4)$$

де $Q\left(\vec{\rho}_1,\vec{\rho}_2,z;k_1,k_2\right)=\dot{\theta}_z\left[\begin{matrix}\frac{k_1}{2}\mu\left(k_1\right)\delta\left(\vec{\rho}-\vec{\rho}_1\right)- \\ -\frac{k_1}{2}\mu\left(k_2\right)\delta\left(\vec{\rho}-\vec{\rho}_2\right)\end{matrix}\right];$

$\Delta_{\perp 1}$, $\Delta_{\perp 2}$ – поперечний лапласіан за координатами $\vec{\rho}_1,\vec{\rho}_2$.

2. Рівняння для кореляційних функцій довільного порядку

Без істотних ускладнень можна отримати і рівняння для моментів довільного порядку. Усереднюючи добуток $G_1 \ldots G_n\; G_1'^* \ldots G_m'^*$ і знову використовуючи для кожного із співмножників подання до вигляді континуального інтегралу Феймана, отримаємо таке:

$$\Gamma_{n,m}= =\int\left(\begin{matrix}\exp\left\{\frac{i}{2}\int_{z_o}^{z} dz'\left[\sum_{p=1}^{n}k_p\dot{\vec{\eta}}_p^2\left(z'\right)-\sum_{s=1}^{m}k_s'\dot{\vec{\eta}}_s'^2\left(z'\right)\right]\right\} \\ \Phi\left[\lambda_{n,m}\right]D\vec{\eta}\,D\vec{\eta}'\end{matrix}\right), \qquad (5)$$

де

$$\lambda_{n,m}\left(\vec{\rho}',z'\right)=\frac{1}{2}h\left(z'-z_o\right)h\left(z-z'\right)\times \times\left[\begin{matrix}\sum_{p=1}^{n}k_p\mu\left(k_p\right)\delta\left(\vec{\rho}'-\vec{\eta}_p\left(z'\right)\right)- \\ -\sum_{s=1}^{m}k_s'\mu\left(k_s'\right)\delta\left(\vec{\rho}'-\vec{\eta}_s\left(z'\right)\right)\end{matrix}\right], \qquad (6)$$

$$D\vec{\eta}=D\vec{\eta}_1\ldots D\vec{\eta}_n,\quad D\vec{\eta}'=D\vec{\eta}_1'\ldots D\vec{\eta}_m',$$

а інтегрування проводиться по всіх двовимірних траєкторіях з наступними граничними умовами:

$$\vec{\eta}_p(z_o)=\vec{\rho}_{op}\,,\ \ \vec{\eta}_p(z)=\vec{\rho}_p,\qquad p=1,\ldots,n;,$$

$$\vec{\eta}_s'(z_o)=\vec{\rho}_{os}'\,,\ \ \vec{\eta}_s'(z)=\vec{\rho}_s',\quad s=1,\ldots,m.$$

Характеристичний функціонал представляється тоді у вигляді:

$$\Phi\left[\lambda_{n,m}\right]= =\exp\left\{\int_{z_o}^{z} dz'\dot{Q}_{z'}\left[\begin{matrix}\frac{1}{2}\sum_{p=1}^{n}k_p\mu\left(k_p\right)\delta\left(\vec{\rho}'-\vec{\eta}_p\left(z'\right)\right)- \\ -\frac{1}{2}\sum_{s=1}^{m}k_s'\mu\left(k_s'\right)\delta\left(\vec{\rho}'-\vec{\eta}_s'\left(z'\right)\right)\end{matrix}\right]\right\}. \qquad (7)$$

Формула (5) з урахуванням (7) дає вираз для $\Gamma_{n,m}$ в формі континуального інтегралу Феймана, з вигляду якого можна відразу записати відповідне рівняння:

$$\frac{\partial \Gamma_{n,m}}{\partial z} = \frac{i}{2}\left(\sum_{p=1}^{n}\frac{1}{k_p}\Delta_{\perp p} - \sum_{s=1}^{m}\frac{1}{k'_s}\Delta'_{\perp s}\right)\Gamma_{n,m} + \\ +\dot{Q}_{z'}\left[\begin{array}{l}\frac{1}{2}\sum_{p=1}^{n}k_p\mu\left(k_p\right)\delta\left(\vec{\rho}'-\vec{\rho}_p\right)- \\ -\frac{1}{2}\sum_{s=1}^{m}k'_s\mu\left(k'_s\right)\delta\left(\vec{\rho}'-\vec{\rho}'_s\right)\end{array}\right]\Gamma_{n,m}. \qquad (8)$$

3. Окремі випадки

Вважаючи в (8)

$$k_1 = ... = k_n = k'_1 = ... = k'_s = k\,,$$

прийдемо до рівнянь для просторових кореляційних функцій [28]. В окремому випадку гауссова випадкового поля $\delta\varepsilon\left(\vec{r}\right)$ рівняння (8) раніше були отримані в [29, 30].

Рівняння (8) дуже складні і, на відміну від випадку просторових кореляційних функцій, аналітично розв'язати вже починаючи з випадку $n = m = 1$ у виразі (4).

Для статистично однорідного по поперечним координатам поля $\delta\varepsilon\left(\vec{r}\right)$, коли

$$Q\left(\vec{\rho}_1,\vec{\rho}_2,z;k_1,k_2\right) = Q\left(\vec{\rho}_1-\vec{\rho}_2,z;k_1,k_2\right),$$

функцію $\Gamma_{1,1}$ можна тільки факторізовати. Для цього в континуальному інтегралі (1) зробимо заміну змінних

$$\vec{\eta} = \vec{\eta}_1 - \vec{\eta}_2\,,\quad \vec{\xi} = \frac{k_1\vec{\eta}_1 - k_2\vec{\eta}_2}{k_1-k_2}\,.$$

Тепер змінні інтегрування в (1) поділяються:

$$\Gamma_{1,1}\left(\vec{\rho}_1,k_1,\vec{\rho}_2,k_2,z\right) = \\ = \int \exp\left\{\frac{i(k_1-k_2)}{2}\int_{z_o}^{z}dz'\dot{\vec{\xi}}^2\left(z'\right)\right\}d\vec{\xi}\times \qquad (9) \\ \times\int\exp\left\{\frac{i}{2}\int_{z_o}^{z}dz'\left[\begin{array}{l}\frac{k_1k_2}{(k_1-k_2)}\dot{\vec{\eta}}^2\left(z'\right)- \\ -\frac{2}{i}Q\left(\vec{\eta}(z')\right),z';k_1,k_2\end{array}\right]\right\}D\vec{\eta},$$

де траєкторії задовольняють таким граничним умовам:

$$\vec{\eta}(z_o) = \vec{\rho}_{o1} - \vec{\rho}_{o2}\,;$$

$$\vec{\eta}(z) = \vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2\,;\quad \vec{\xi}(z_o) = \frac{k_1\vec{\rho}_{o1} - k_2\vec{\rho}_{o2}}{k_1-k_2}\,;$$

$$\vec{\xi}(z) = \frac{k_1\vec{\rho}_1 - k_2\vec{\rho}_2}{k_1-k_2}\,.$$

З урахуванням нормування вираз (9) можна переписати таким чином:

$$\Gamma_{1,1}\left(\vec{\rho}_1,k_1,\vec{\rho}_2,k_2;z\right) = \\ = G_o\left(\begin{array}{c}\frac{k_1\left(\vec{\rho}_1-\vec{\rho}_{o1}\right)-k_2\left(\vec{\rho}_2-\vec{\rho}_{o2}\right)}{k_1-k_2}, \\ z-z_o,k_1-k_2\end{array}\right)\times \\ \times f\left(\vec{\rho}_1-\vec{\rho}_2,z;k_1,k_2\right),$$

де функція $f\left(\vec{\rho},z;k_1,k_2\right)$ задовольняє таким рівнянням і початковій умові

$$\begin{cases}\left[\frac{\partial}{\partial z}+\frac{1}{2i}\left(\frac{1}{k_1}-\frac{1}{k_2}\right)\Delta_\perp - Q\left(\vec{\rho},z;k_1,k_2\right)\right]\times \\ \qquad\times f\left(\vec{\rho},z;k_1,k_2\right)=0; \\ f\Big|_{z=z_o} = \delta\left(\vec{\rho}-\vec{\rho}_{o1}+\vec{\rho}_{o2}\right).\end{cases}$$

4. Обговорення

Рівняння для моментів можна отримати і іншим, кілька більш громіздким шляхом - перетворюючи в інтегро-диференціальні і усереднюючи відповідні стохастичні рівняння, використовуючи потім умова дельта-коррельованості для розчеплення виникають середніх і, нарешті, переходячи назад до диференціальної формі записи. Навіть останній крок для просторових кореляційних моментів з'явився свого часу нетривіальним завданням.

Крім того, при традиційному підході використання узагальнень формули Фуруцу-Новикова вносить додаткові труднощі, суть яких в наступному.

У фізичних завданнях, описуваних системою диференціальних рівнянь першого порядку по виділеній (будемо називати її часовою) змінній t з початковими умовами $t = 0$, статистичні властивості рішення в момент t визначаються статистичними характеристиками випадкового процесу $z(\tau)$ при $0 \le \tau \le t$, які повністю описуються характеристичним функціоналом

$$\Phi\left[t,\lambda\right] = \left\langle \exp\left\{i\int_0^t d\tau\,\lambda(\tau)\,z(T)\right\}\right\rangle.$$

В цьому випадку розраховані за формулою Фуруцу-Новикова середні $\left\langle z(t')\,R[z]\right\rangle$ ($R[z]$ - якийсь функціонал від $z(T)$) зазнають розрив в точці $t' = t$, обумовлений некомутативними операціями граничного переходу $t' \to t$ і розкладання в функціональний ряд Тейлора.

Складність і труднощі рішення рівнянь для моментів зростає з ростом їх порядку: якщо рівняння навіть для просторових функцій когерентності першого $\Gamma_{1,o}$ і другого $\Gamma_{1,1}$ порядків вирішуються в загальному вигляді, то аналітичне рішення рівняння для більш високих моментів отримати вже не вдається.

Використання КІ дозволяє просто записувати як рішення рівнянь будь-якого порядку (хоча звичайно запис рішень у вигляді КІ є перенесенням труднощів з однієї області - рішення рівнянь в приватних похідних в іншу, тому що точно обчислюються КІ лише спеціального виду - гаусові), так і вирази для таких величин, які не можуть бути описані замкнутими рівняннями, уникаючи при цьому введення зайвих параметрів.

Так, наприклад, можна отримати замкнутий рівняння для функції когерентності $\Gamma_{2,2}$, за допомогою якого потім знайти середній квадрат інтенсивності $\left\langle I^2(\vec{\rho}, z)\right\rangle$. Однак, як уже зазначалося, аналітично відповідне рівняння не вирішується і містить багато зайвих параметрів, в той час як уявлення $\left\langle I^2(\vec{\rho}, z)\right\rangle$ у вигляді КІ цих параметрів не містить. Тому такий запис корисна для вивчення асимптотичних характеристик розподілу ймовірностей інтенсивності.

Як відомо, поза рамками марківського наближення, з рівняння (1) вдається отримати лише ланцюжок пов'язаних рівнянь для статистичних моментів поля $U(\vec{r})$, в рівняння для нижчих моментів обов'язково входять моменти більш високих порядків. Складність вирішення цього ланцюжка рівнянь пов'язана з труднощами обчислення КІ загального вигляду.

Зазвичай для розчеплення ланцюжка і отримання замкнутих рівнянь для моментів даного порядку приймаються певні статистичні гіпотези про рішення.

При формулюванні завдання в терміналах КІ такі статистичні гіпотези проявляються як деякі наближення для подінтегрального виразу, що дозволяє простежити за характером наближень і визначити межі їх застосовності.

Висновки

У статті наведено результати аналізу можливості удосконалення математичної моделі оптичних каналів передачі інформації з використанням методу континуальних інтегралів Феймана за рахунок дослідження просторово-часових і просторово-частотних кореляцій поля хвилі.

Для цього було вирішено ряд приватних завдань в результаті чого отримані такі наукові результати.

1. Отримані рівняння кореляційних функцій оптичного сигналу у каналах комп'ютерної мережі інформаційної системи судової експертизи.

2. Отримані рівняння кореляційних функцій довільного порядку оптичного сигналу у каналах комп'ютерної мережі інформаційної системи судової експертизи

3. Отримані рівняння просторових кореляційних функцій оптичного сигналу у каналах комп'ютерної мережі інформаційної системи судової експертизи

4. Наведено результаті деяких стандартних випадків стохастичного сигналу та його статистичних характеристик.

Список літератури

1 Кучук Г. А. Рубан І. В., Давікоза О. П. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі. Системи обробки інформації : збірник наукових праць. Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 7 (114). – С. 106 – 112.
2. Lemeshko, O., Yevdokymenko, M., Yeremenko, O. (2019), "Model of data traffic QoS fast rerouting in infocommunication networks", Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, No. 3 (9), P. 127–134.DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.127.
3. Zykov, I., Kuchuk, N., Shmatkov, S. (2018), "Architecture synthesis of the computer system of transaction control e-learning", Advanced Information Systems, Vol. 2, No. 3, P. 60–66. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10
4. Mozhaev, O., Kuchuk, H., Kuchuk, N., Mozhaev, M., Lohvynenco, M. (2017), "Multiservise network security metric", IEEE Advanced information and communication technologies-2017, Proc. of the 2th Int. Conf. Lviv, 2017, P. 133–136.
5. Kliuiev, O., Mozhaiev, M., Uhrovetskyi, O., Mozhaiev, O., Simakova-Yefremian, E. (2019), "Method of forensic research on image for finding touch up on the basis of noise entropy", 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019 – Proceedings.
6. Mozhaiev, M., Kuchuk, N., Usatenko M. (2019), "The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform", Innovate Technologies and Scientific Solutions for Industries, No. 4 (10), P. 134-140. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134
7. Rudnytsky, V., Mozhaiev, M. and Kuchuk, N. (2020) "Method for the diagnostics of synchronization disturbances in the telecommunications network of a critical used computer system", Innovative technologies and scientific solutions for industries, (1 (11), P. 172-180. DOI:https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.172.
8. Amin Salih M., Potrus M.Y. A Method for Compensation of Tcp Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node. ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences. 2015. Vol. 27, No 6. P. 59–68.
9. Кучук, Г.А. Метод уменьшения времени передачи данных в беспроводной сети / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2011. – Вип. 3 (19). – С. 209–213.
10. Amin Salih Mohammed, Saravana Balaji B., Saleem Basha M S, Asha P N and Venkatachalam K (2020), FCO — Fuzzy constraints applied Cluster Optimization technique for Wireless AdHoc Networks, Computer Communications, Volume 154, Pages 501-508, DOI: https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.079.
11. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Mohammed, A. S., Manikandan, V., Porkodi, V., & Yuvaraj, N. (2019). Improved Enhanced Dbtma with Contention-Aware Admission Control to Improve the Network Performance in Manets. CMC-COMPUTERS MATERIALS & CONTINUA, 60(2), pp. 435-454, DOI: https://doi.org/10.32604/cmc.2019.06295
12. Porkodi V., Sivaram M., Mohammed A.S., Manikandan V. Survey on White-Box Attacks and Solutions. Asian Journal of Computer Science and Technology. Vol. 7, Is. 3. pp. 28–32.

13. Кучук Г. А. Метод параметрического управления передачей данных для модификации транспортных протоколов беспроводных сетей / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2011. – № 8(98). – С. 211-218.
14. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Amin Salih, Mohammed, Porkodi, V. and Manikandan V. (2018), "The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity", International Journal of Engineering and Advanced Technology, Vol. 8, iss. 2, 2018, pp. 95-100.
15. Manikandan, V, Porkodi, V, Mohammed, A.S. and Sivaram M. (2018), "Privacy Preserving Data Mining Using Threshold Based Fuzzy cmeans Clustering", ICTACT Journal on Soft Computing, Vol. 9, Issue 1, 2018, pp.1813-1816. DOI: 10.21917/ijsc.2018.0252
16. Mohammed, A. S., Meleshko, Y., & Serhii, S. (2019, December). Collaborative Filtering Method with the use of Production Rules, *2019 International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE)*, pp. 387-391, IEEE, DOI: https://doi.org/10.1109/ICCIKE47802.2019.9004257
17. Selvaraj, J., & Mohammed, A. S. (2020), Mutation-based PSO techniques for optimal location and parameter settings of STATCOM under generator contingency, *International Journal of Intelligence and Sustainable Computing*, *1*(1), 53-68, DOI: https://doi.org/10.1504/IJISC.2020.104827
18. Можаєв М.О. Математична модель оптичних каналів передачі інформації Телекомунікаційні та інформаційні технології. – Київ: ДУТ, 2020. – № 1. – С. 95 – 99.
19. Feynman, R. P. Quantum mechanics and path integrals / R. P. Feynman, A. R. Hibbs. – McGraw-Hill, New York, 1965. – 377 p
20. Roepstor G. Path Integral Approach to Quantum Physics, Springer, Heidelberg, 1996. – 220 p.
21. Chaichian M., Demichev A. Path Integrals in Physics. Vol. 1. – IOP Publishing, London, 2001. – 352 p.
22. Kleinert H. Path Integrals in Quantum Mechanics, Statistics, Polymer Physics, and Fi-nancial Markets, – World Scientific Publishing Co., Singapore, 2004. – 1300 p.
23. LaChapelle J. Path integral solution of linear second order partial differential equations I: the general construction // Ann. Phys. – 2004. – 314. – P. 362 – 395.
24. LaChapelle J. Path integral solution of linear second order partial differential equations II: elliptic, parabolic, and hyperbolic cases // Ann. Phys. – 2004. – 314. – P. 396 – 424.
25. Егоров, А. Д. Введение в теорию и приложения функционального интегрирования / А. Д. Егоров, Е. П. Жидков, Ю. Ю. Лобанов. – М.: Физматлит, 2006. – 400 с.
26. Horacio, S. Wio. Application of path integration to stochastic process: an introduction / S. Wio. Horacio. – World Scientific Publishing Company, 2013. – 176 p.
27. Constantinou J. Path-integral analysis of tapered, graded-index waveguides // J. Opt. Soc. Amer. A. – Aug. 1991. – V. 8. – P. 1240 – 1244.
28. Nevels R.D. Miller J.A. Miller R.E. A path integral time-domain method for electromag-netic scattering // IEEE Trans. Antennas Propagat. – Apr. 2000. – V. 48. – P. 565 – 573.
29. Yeh K.C., Lin K.H., Wang Y. Effect of irregular terrain on waves – a stochastic approach // IEEE Trans. Antennas Propagat. – Feb. 2001. – V. 49. – P. 250 – 259.
30. Levy M. Parabolic equation methods for electromagnetic wave propagation. - London: IEE, 2000. – 348 p.

Received (Надійшла) 18.11.2020
Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.01.2021

Improvement of mathematical model of optical channels transmission of information

M. Mozhayev

Abstract. The object of research is the methods of building a mathematical model of optical information transmission channels in the information system of forensic examination, the subject of research - optical information transmission channels. The results of the analysis of information transfer in the information system of forensic examination are given, which established that when using optical communication channels the biggest problems arise due to the heterogeneity of the distribution environment. Therefore, the task of monitoring the state of information exchange in computer networks of the information system is extremely important. The solution of this complex and multifaceted problem in the article is based on previous studies, which were performed using the formalism of continuum integrals (CI) Feiman. , field theory, mathematical statistics and probability theory, nonlinear optics, systems theory. These methods were integrated into the general method, which allowed to improve the mathematical model of optical information transmission channels. Using the analytical relations obtained in the previous article, the equations of correlation functions, including arbitrary order, were formulated. This became possible using Feymann continuous integrals. The analysis of the obtained equations for some partial conditions is given in the article. The article finds that the use of CI allows you to simply write as solutions of equations of any order (although usually writing solutions in the form of CI is a transfer of difficulties from one area - solving equations in private derivatives to another, because accurately calculated CI only special type - Gaussian), and expressions for such quantities that cannot be described by closed equations, while avoiding the introduction of redundant parameters. The complexity and difficulty of solving equations for moments increases with increasing order: if the equations even for the spatial coherence functions of the first and second orders are solved in general, the analytical solution of the equation for higher moments can no longer be obtained. Usually, to uncouple the chain and obtain closed equations for moments of this order, certain statistical hypotheses about the solution are adopted. When formulating a problem in CI terminals, such statistical hypotheses appear as some approximations for subintegral expression, which allows us to trace the nature of approximations and determine the limits of their applicability. Thus, there is a theoretical possibility of improving the mathematical model of optical information transmission channels based on the use of CI formalism to obtain the equation of correlation functions.

Keywords: telecommunication network, forensic information information system, optical communication channel, mathematical model, continuous integral, parabolic wave equation