



УКРАЇНА

(19) UA (11) 58953 (13) U  
(51) МПК (2011.01)  
G06T 15/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

### (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ СПЕКУЛЯРНОЇ СКЛАДОВОЇ КОЛЬОРУ

1

2

(21) u201012870

(22) 29.10.2010

(24) 26.04.2011

(46) 26.04.2011, Бюл.№ 8, 2011 р.

(72) РОМАНЮК ОЛЕКСАНДР НИКИФОРОВИЧ,  
ЛЯШЕНКО ЮРІЙ ЛЕОНІДОВИЧ, ПАВЛИК ТЕТЯНА  
МИКОЛАЇВНА

(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

(57) Пристрій для визначення інтенсивності спекулярної складової кольору, що містить перший блок постійної пам'яті, перший суматор, перший блок множення, перший вхід якого з'єднано із виходом першого блока постійної пам'яті та другий, третій та четвертий блоки множення, виходи яких підключено до першого, другого та третього виходів пристрою відповідно, вихід першого регістра підключено до першого блока постійної пам'яті, керуючий вхід підключено до першого керуючого входу пристрою, а інформаційний вхід підключено до першого інформаційного входу пристрою, вихід другого регістра підключено до обох входів п'ятого блока множення, до входу блока інверторів та до другого інформаційного входу другого суматора, керуючий вхід другого регістра підключено до другого керуючого входу пристрою, а інформаційний вхід підключено до другого інформаційного входу пристрою, обидва входи п'ятого блока множення підключено до виходу другого регістра, а вихід з'єднано із першим інформаційним входом першо-

го суматора, вихід блока інверторів з'єднано із другим інформаційним входом першого суматора, вхід переносу підключено до рівня логічної одиниці, а вихід до другого входу першого блока множення, до першого інформаційного входу другого суматора підключено вихід першого блока множення, керуючий вхід підключено до рівня логічного нуля, керуючий вхід третього регістра підключено до третього керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до третього інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із другим входом другого блока множення, керуючий вхід четвертого регістра підключено до четвертого керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до четвертого інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із другим входом третього блока множення, керуючий вхід п'ятого регістра підключено до п'ятого керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до п'ятого інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із другим входом четвертого блока множення, який відрізняється тим, що у нього введено другий блок пам'яті та шостий блок множення, вхід другого блока пам'яті з'єднано із виходом першого регістра, а вихід підключено до другого входу шостого блока множення, перший вхід блока множення підключено до виходу другого суматора, другий вхід - до виходу другого блока пам'яті, а вихід підключено до перших входів третього, четвертого та п'ятого блоків множення.

Корисна модель відноситься до автоматики та обчислювальної техніки і призначена для формування в системах комп'ютерної графіки спекулярної (дзеркальної) складової кольору.

Відомий пристрій для визначення інтенсивності спекулярної складової кольору, який містить перший і другий суматори, перший і четвертий блоки множення, зсувний регістр, лічильник, схему порівняння, мультиплексор. Зсувний регістр підключено до інформаційного входу пристрою, а виходи підключено до входу першого суматора та до першого входу схеми порівняння, вхід першого суматора підключено до виходу зсувного регістра,

а вихід з'єднано із другим входом схеми порівняння та із першим входом другого суматора, перший вхід другого суматора підключено до виходу першого суматора, другий вхід - до рівня логічної одиниці, а вихід підключено до обох входів першого блоку множення, обидва входи першого блоку множення підключено до виходу другого суматора, а вихід підключено до обох входів другого блоку множення, обидва входи другого блоку множення підключено до виходу першого блоку множення, а вихід з'єднано із першим входом мультиплексора, перший вхід схеми порівняння з'єднано з зсувним регістром, другий вхід із виходом першого сумато-

(13) U

(11) 58953

(19) UA

ра, а вихід підключено до стробового входу мультиплексора, перший вхід мультиплексора підключено до вихода другого блоку множення, другий вхід заземлено, стробовий вхід підключено до виходу схеми порівняння, а вихід підключено до виходу пристрою [патент № 5739820 США, МПК6 G 06 T 15/50, 1998, фіг. 7C, 7D].

Найбільш близьким до технічного рішення є пристрій для визначення інтенсивності спекулярної складової кольору, який містить блок постійної пам'яті, перший блок множення, перший вхід якого з'єднано із виходом блоку постійної пам'яті та другий, третій та четвертий блоки множення, виходи яких підключено до першого, другого та третього виходів пристрою відповідно, першого регістра, вихід якого підключено до блоку постійної пам'яті, керуючий вхід якого підключено до першого керуючого входу пристрою, а інформаційний вхід підключено до першого інформаційного входу пристрою, другий регістр, вихід якого підключено до обох входів п'ятого блоку множення, до входу блоку інверторів та до другого інформаційного входу другого суматора, керуючий вхід другого регістра підключено до другого керуючого входу пристрою, а інформаційний вхід підключено до другого інформаційного входу пристрою, п'ятий блок множення, обидва входи якого підключено до виходу другого регістра, а вихід з'єднано із першим інформаційним входом першого суматора, блок інверторів, вихід якого з'єднано із другим інформаційним входом першого суматора, вхід переносу підключено до рівня логічної одиниці, а вихід до другого входу першого блоку множення, другий суматор, до першого інформаційного входу якого підключено вихід першого блоку множення, керуючий вхід підключено до рівня логічного нуля, а вихід з'єднано із першими входами другого, третього та четвертого блоків множення, третій регістр, керуючий вхід якого підключено до третього керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до третього інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із другим входом другого блоку множення, четвертий регістр, керуючий вхід якого підключено до четвертого керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до четвертого інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із другим входом четвертого блоку множення, введено другий блок пам'яті та шостий блок множення, вхід другого блоку пам'яті з'єднано із виходом першого регістра, а вихід підключено до другого входу шостого блоку множення, перший вхід блоку множення підключено до виходу другого суматора, другий вхід - до виходу другого блоку пам'яті, а вихід підключено до перших входів третього, четвертого та п'ятого блоків множення.

Поставлена задача досягається тим, що в пристрій для визначення інтенсивності спекулярної складової кольору, який містить перший блок постійної пам'яті, перший суматор, перший блок множення, перший вхід якого з'єднано із виходом першого блоку постійної пам'яті та другий, третій та четвертий блоки множення, виходи яких підключено до першого, другого та третього виходів пристрою відповідно, вихід першого регістра підключено до першого блоку постійної пам'яті, керуючий вхід підключено до першого керуючого входу пристрою, а інформаційний вхід підключено до першого інформаційного входу пристрою, вихід другого регістра підключено до обох входів п'ятого блоку множення, до входу блоку інверторів та до другого інформаційного входу другого суматора, керуючий вхід другого регістра підключено до другого керуючого входу пристрою, а інформаційний вхід підключено до другого інформаційного входу пристрою, обидва входи п'ятого блоку множення підключено до виходу другого регістра, а вихід з'єднано із першим інформаційним входом першого суматора, вихід блоку інверторів з'єднано із другим інформаційним входом першого суматора, вхід переносу підключено до рівня логічної одиниці, а вихід до другого входу першого блоку множення, до першого інформаційного входу другого суматора підключено вихід першого блоку множення, керуючий вхід підключено до рівня логічного нуля, керуючий вхід третього регістра підключено до третього керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до третього інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із другим входом другого блоку множення, керуючий вхід четвертого регістра підключено до четвертого керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до четвертого інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із другим входом третього блоку множення, керуючий вхід п'ятого регістра підключено до п'ятого керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до п'ятого інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із другим входом четвертого блоку множення, введено другий блок пам'яті та шостий блок множення, вхід другого блоку пам'яті з'єднано із виходом першого регістра, а вихід підключено до другого входу шостого блоку множення, перший вхід блоку множення підключено до виходу другого суматора, другий вхід - до виходу другого блоку пам'яті, а вихід підключено до перших входів третього, четвертого та п'ятого блоків множення.

На фіг. 1 зображено схему пристрою.

На фіг. 2 зображено хід променів для моделі освітлення Бліна.

На фіг.3 зображено графіки інтеграла по поверхні для дистрибутивної функції відбивної здатності поверхні (ДФВЗ) згідно моделі Бліна та для апроксимаційної функції з нормалізаційним коефіцієнтом, що пропонується.

На фіг.4 зображено графік залежності кількості світла Інтеграла по поверхні для ДФВЗ, яка використовується у пристрої прототипі та показано, що його значення перевищують 1.

На фіг.5 зображено параметри ДФВЗ.

Недоліками пристрою є низька реалістичність відтворення спекулярної складової кольору, оскільки при обчисленнях не дотримано закону збереження енергії.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення пристрою для визначення інтенсивності спекулярної складової кольору, у якому за рахунок введення нових елементів і зв'язків, а також використання нової функціональної залежності досягається підвищення реалістичності визначення спекулярної складової кольору за рахунок дотримання закону збереження енергії.

Пристрій для визначення інтенсивності спекулярної складової кольору, який містить перший 6 блок постійної пам'яті, відповідно перший ÷ п'ятий 1 ÷ 5 реєстри, перший суматор 9, другий суматор 11, блок 8 Інверторів, відповідно перший ÷ п'ятий 10, 12 ÷ 14, 7, 32 блоки множення, перший 16, другий 18, третій 19, четвертий 21, п'ятий 23 інформаційні входи пристрою, перший 15, другий 17, третій 20, четвертий 22, п'ятий 24 керуючі входи пристрою, відповідно перший ÷ третій 25 ÷ 27 інформаційні входи пристрою, причому перший вхід першого реєстра 1 підключено до першого 16 інформаційного входу пристрою, другий вхід першого реєстра 1 підключено до першого 15 керуючого входу пристрою, вихід першого реєстра 1 підключено до входів першого 6 блоку постійної пам'яті, перший вхід другого реєстра 2 підключено до другого 18 інформаційного входу пристрою, а другий вхід підключено до другого 17 керуючого входу пристрою, виходи другого 2 реєстра підключено до обох входів п'ятого 7 блоку множення, до входу блоку 8 інверторів, до другого інформаційного входу другого 11 суматора, входи п'ятого 7 блоку множення підключено до виходу другого 2 реєстра, вихід п'ятого 7 блоку множення підключено до першого входу першого 9 суматора, вхід блоку 8 інверторів підключено до виходу другого 2 реєстра, вихід блоку 8 інверторів підключено до другого входу першого 9 суматора, перший вхід першого 9 суматора підключено до виходу п'ятого 7 блоку множення, другий вхід першого 9 суматора підключено до виходу блоку 8 інверторів, вихід першого 9 суматора підключено до другого входу першого 10 блоку множення, вхід першого 6 блоку постійної пам'яті підключено до виходу першого 1 реєстра, вихід першого 6 блоку підключено до першого входу першого 10 блоку множення, перший вхід першого 10 блоку множення з'єднано із виходом блоку 6 постійної пам'яті, вихід першого 10 блоку множення підключено до першого входу другого 11 суматора, введено другий 31 блок постійної пам'яті, якого підключено до виходу першого 1 реєстра, вихід другого 31 блоку постійної пам'яті підключено до першого входу шостого 32 блоку множення, перший вхід шостого 32 блоку множення підключено до виходу другого 31 блоку постійної пам'яті, другий вхід шостого 32 блоку множення підключено до виходу другого 11 суматора, вихід шостого 32 блоку множення з'єднано із першими входами другого 12, третього 13 та четвертого 14 блоків множення, перший вхід другого 11 суматора підключено до виходу першого 10 блоку множення, другий вхід другого 11 суматора підключено до виходу другого 2 реєстра, вихід другого 11 суматора підключено до виходу шостого 32 блоку множення, вихід другого блоку 12 множення підключено до виходу шостого 32 блоку множення, вихід другого блоку 12 множення підключено до першого виходу 25 пристрою, вхід третього блоку 13 множення підключено до виходу шостого 32 блоку множення, вихід третього блоку 13 множення підключено до другого виходу 26 пристрою, вхід четвертого блоку 14 множення підключено до виходу шостого 32 блоку множення, вихід четвертого блоку 14 множення підключено

до третього виходу 27 пристрою, керуючий вхід 30 підключено до рівня логічного нуля (заземлено), а вихід з'єднано із першим входом шостого блоку множення 32, керуючий вхід третього реєстра 3 підключено до третього керуючого входу 20 пристрою, інформаційний вхід підключено до четвертого інформаційного входу 19 пристрою, а вихід з'єднано із другим входом третього блоку 12 множення, керуючий вхід четвертого реєстра 4 підключено до четвертого керуючого входу 22 пристрою, інформаційний вхід підключено до четвертого інформаційного входу 21 пристрою, а вихід з'єднано із другим входом третього блоку 13 множення, керуючий вхід п'ятого реєстра 5 підключено до п'ятого керуючого входу 24 пристрою, інформаційний вхід підключено до п'ятого інформаційного входу 23 пристрою, а вихід з'єднано із другим входом четвертого блоку 14 множення, керуючий вхід пристрою 29. ( див. фіг.1).

Для зафарбовування об'єктів у пристрої використовується модель освітлення Бліна, згідно з якою інтенсивність спекулярної складової кольору розраховується по формулі:

$$I = I_0 k_s \cos^n \gamma, \quad (1)$$

де  $I_0$  - інтенсивність джерела світла,  $k_s$  - коефіцієнт дзеркального відбиття,  $n$  - коефіцієнт спекулярності поверхні, який знаходиться в діапазоні 1-1000,  $\gamma$  - кут між вектором нормалі  $\vec{N}$  до поверхні в заданій точці і вектором півшляху  $\vec{H}$ ,  $\cos^n \gamma$  - дистрибутивна функція відбивної здатності поверхні (BRDF). Вектор  $\vec{H}$  розраховується за формулою (2).

$$\vec{H} = \frac{\vec{L} + \vec{V}}{|\vec{L} + \vec{V}|} \quad (2)$$

Вектори  $\vec{L}$  та  $\vec{V}$  - одиничні вектори, що визначають відповідно місце розташування джерела світла та спостерігача (див. фіг.2). Як видно з формули (2), вектор  $\vec{H}$  знаходиться шляхом додавання векторів  $\vec{L}$  та  $\vec{V}$  та нормалізації отриманого вектору (див. фіг. 3).

У пристрої прототипі пропонується апроксимація ДФВЗ квадратичною функцією відносно  $\cos x$ , тобто

$$\cos^n x = a \cos^2 x + b \cos x + c \quad (3)$$

Де

$$a = \frac{\cos^{n-1} \left( \arctg \left( \frac{1}{\sqrt{n-1}} \right) \right) - 1}{\cos \left( \arctg \left( \frac{1}{\sqrt{n-1}} \right) \right) - 1}, \quad (4)$$

$$c = 0, \quad b = 1 - a.$$

Значення  $a$  доцільно обчислити попередньо і зберегти у блоці постійної пам'яті.

Закон збереження енергії стосовно ДФВЗ передбачає, що кількість світла, яке відбилось від

поверхні не може перевищувати кількість світла, яке потрапило на поверхню. У сферичних координатах умова справедливості закону збереження енергії запишеться так:

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{2\pi} \text{BRDF}(\mathbf{S} \cdot \mathbf{V}) \cos \theta \sin \theta d\theta d\varphi \leq 1, \quad (5)$$

де

- $\theta_i$  - зенітний (полярний) кут вхідного променя;
- $\theta_r$  - зенітний (полярний) кут відбитого променя;

- $\varphi_i$  - азимутальний кут вхідного променя;
- $\varphi_r$  - азимутальний кут відбитого променя;

$$dw_i = \sin \theta_i d\theta_i d\varphi_i;$$

$$dw_r = \sin \theta_r d\theta_r d\varphi_r;$$

$\mathbf{S}$  - напрямок на джерело світла;

$\mathbf{V}$  - напрямок на спостерігача;

Перераховані кути зображено на фіг.5.

Знайдемо в загальному випадку значення цього інтеграла для функції (4):

$$\begin{aligned} f(\theta) \cos \theta \sin \theta d\theta d\varphi &= \varphi_0^2 \pi \times \int_0^{\frac{\pi}{2}} (a \cos^2(\theta) + b \cos(\theta) + c) \cos(\theta) \sin \theta d\theta = \\ &= 2\pi \times \int_0^{\frac{\pi}{2}} (a \cos^3(\theta) + b \cos^2(\theta) + c) \cos(\theta) \sin \theta d\theta = \\ &= 2\pi \times \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[ \int_0^{\frac{\pi}{2}} a \cos^3(\theta) \sin \theta d\theta + \int_0^{\frac{\pi}{2}} b \cos^2(\theta) \sin \theta d\theta + \int_0^{\frac{\pi}{2}} c \cos(\theta) \sin \theta d\theta \right] = \\ &= 2\pi \times \left[ a \int_{\frac{\pi}{2}}^0 \cos^3(\theta) d(\cos(\theta)) + b \int_{\frac{\pi}{2}}^0 \cos^2(\theta) d(\cos(\theta)) + c \int_{\frac{\pi}{2}}^0 \cos(\theta) d(\cos(\theta)) \right] = \\ &= 2\pi \times \left[ a \frac{\cos^4(\theta)}{4} \Big|_{\frac{\pi}{2}}^0 + b \frac{\cos^3(\theta)}{3} \Big|_{\frac{\pi}{2}}^0 + c \frac{\cos^2(\theta)}{2} \Big|_{\frac{\pi}{2}}^0 \right] = 2\pi \left[ \frac{a}{4} + \frac{b}{3} + \frac{c}{2} \right] = 2\pi \frac{3a + 4b + 6c}{12} = \\ &= \frac{\pi(3a + 4b + 6c)}{6}. \end{aligned}$$

Таким чином, нормалізаційний коефіцієнт для косинус-квадратичної апроксимаційної функції у загальному вигляді такий:

$$\frac{6}{\pi(3a + 4b + 6c)};$$

Підставивши в отриману формулу значення для  $a$ ,  $b$ ,  $c$  знаходимо, що нормалізаційний коефіцієнт матиме такий вигляд:

$$\frac{6}{\pi \left[ 4 - \frac{\cos^{n-1} \left( \arctg \left( \frac{1}{\sqrt{n-1}} \right) \right) - 1}{\cos \left( \arctg \left( \frac{1}{\sqrt{n-1}} \right) \right) - 1} \right]} \quad (6)$$

Зауважимо, що цей коефіцієнт завжди додатний.

Таким чином, формула для обчислення фізично-коректної ДФВЗ матиме вигляд:

$$\begin{aligned}
& \frac{6}{\pi \left( 4 - \frac{\cos^{n-1} \left( \arctg \left( \frac{1}{\sqrt{n-1}} \right) \right) - 1}{\cos \left( \arctg \left( \frac{1}{\sqrt{n-1}} \right) \right) - 1} \right)^x} \\
& \times \left( \left( 4 - \frac{\cos^{n-1} \left( \arctg \left( \frac{1}{\sqrt{n-1}} \right) \right) - 1}{\cos \left( \arctg \left( \frac{1}{\sqrt{n-1}} \right) \right) - 1} \right) \cos^2 \gamma + 1 - \left( 4 - \frac{\cos^{n-1} \left( \arctg \left( \frac{1}{\sqrt{n-1}} \right) \right) - 1}{\cos \left( \arctg \left( \frac{1}{\sqrt{n-1}} \right) \right) - 1} \right) \cos \gamma \right)
\end{aligned}$$

(7)

Пристрій працює наступним чином.

У перший регістр 1 записується значення коефіцієнта  $n$  спекулярності поверхні. Для цього його значення подається на інформаційний вхід 16 пристрою, а на керуючий вхід 15 - рівень логічної одиниці. У другий регістр 2 записується значення косинуса кута між вектором нормалі та вектором  $\vec{H}$ ,

$\cos \varphi = \vec{H} \cdot \vec{N}$ ,  $\vec{N}$  - вектор нормалі, а  $\vec{L}$  та  $\vec{V}$  - одиничні вектори, що визначають відповідно місце розташування джерела світла та спостерігача. Як

видно з формули (2), вектор  $\vec{H}$  знаходиться шля-

хом додавання векторів  $\vec{L}$  та  $\vec{V}$  та нормалізації отриманого вектору (див. фіг. 2). Значення  $\cos \delta$  подається на другий інформаційний вхід 18. Запис здійснюється по задньому фронту сигналу, який поступає на другий керуючий вхід 17. У перший ÷ третій регістри 3, 4 та 5 від зовнішнього пристрою записується значення інтенсивності R, G, B складових кольору, помножених на коефіцієнт  $k_s$  дзеркального відбиття поверхні відповідно. Для цього на третій ÷ п'ятий інформаційні входи 19, 21 та 23 подаються значення інтенсивності R-складової, G-складової та B-складової, помножених на коефіцієнт дзеркального відбиття поверхні, відповідно, а на відповідні третій ÷ п'ятий керуючі входи 20, 22 та 24 подається рівень логічної одиниці. Значення коефіцієнта спекулярності  $n$  із першого регістра 1 поступає на вхід першого блоку 6 постійної пам'яті, де зберігаються відповідні значення коефіцієнта  $a$ . Значення коефіцієнта  $a$  з виходу першого блоку постійної пам'яті 6 поступає на перший вхід першого блоку множення 10, на другий вхід якого поступає операнд  $\cos^2 \delta - \cos \delta$ . Він формується таким чином. Значення  $\cos \delta$  з другого регістра 2 подається на обидва входи п'ятого блоку 7 множення, що забезпечує формування на його виході значення  $\cos^2 \delta$ , яке поступає на перший вхід першого суматора 9. На вхід блоку 8 інверторів з другого регістра 2 поступає значення  $\cos \delta$ . На виході блоку 8 формується інверсне значення зазначеного операнда, яке поступає на другий інформаційний вхід першого суматора 9, на виході якого отримують операнд  $\cos^2 \delta - \cos \delta$ . Оскільки віднімання в першому суматорі 9 відбувається в доповняльному коді, то на його вхід переносу 28 подають рівень логічної одиниці. Блок перший 10 множення приймає на перший вхід значення коефіцієнта  $a$  із першого блоку 6 постійної пам'яті, на другий вхід - значення  $\cos^2 \delta - \cos \delta$  із виходу першого суматора 9. Отриманий добуток  $a(\cos^2 \delta - \cos \delta)$  поступає на перший інформаційний вхід другого суматора 11. На другий вхід другого суматора 11 поступає зна-

чення  $\cos \delta$  з виходу другого регістра 2. На виході другого суматора 11 формується апроксимоване значення ДФВЗ -  $a(\cos^2 \delta - \cos \delta) + \cos \delta$ . Із виходу другого суматора 11 значення ДФВЗ подається на перший вхід шостого блоку множення 32. Для кожного  $n$  у другому блоці постійної пам'яті 33 зберігається нормалізаційний коефіцієнт, який введено для забезпечення виконання закону збереження енергії. Значення  $n$  із виходу першого регістра 1 подається на другий блок 31 пам'яті, на виході якого формується значення коефіцієнта

$$\pi \left( 4 - \frac{\cos^{n-1} \left( \arctg \left( \frac{1}{\sqrt{n-1}} \right) \right) - 1}{\cos \left( \arctg \left( \frac{1}{\sqrt{n-1}} \right) \right) - 1} \right)$$

який подається на другий вхід шостого блоку множення 32, значення з виходу якого подається на перші входи третього 13, четвертого 14 та п'ятого 15 блоків множення. На другі входи третього 13, четвертого 14 та п'ятого 15 блоків множення із виходів третього 3, четвертого 4 та п'ятого 5 регістрів відповідно подається значення інтенсивності R, G, B складових кольору помножених на коефіцієнт  $k_s$  дзеркального відбиття поверхні. На першому 25, другому 26 та третьому 27 інформаційних виходах пристрою формуються R, G, B складові інтенсивності кольору, які знайдено по формулі (7).

Достовірність даних на перших ÷ третіх виходах 25, 26, 27 пристрою підтверджується переднім фронтом сигналу, який формується на виході 29. Цим сигналом є сигнал запису в другий регістр 2, активним фронтом запису є задній фронт. Таке часове рознесення відповідає принципу єдиної часової організації. Зрозуміло, що тривалість сигналу  $T$  повинна бути більшою перехідних процесів пристрою. Керуючий вхід 28 першого суматора 9 з'єднано із рівнем логічної одиниці для того, щоб суматор працював у режимі віднімання. Керуючий вхід 30 пристрою підключено до рівня логічного нуля (заземлено), таким чином забезпечується робота суматора в режимі додавання.

Недоліком пристрою-прототипу є низька реалістичність спекулярної складової кольору, оскільки обчислене значення не відповідає закону збереження енергії, (див. фіг. 4).

У запропонованому пристрої введено нормалізаційні коефіцієнти для кожного значення  $n$ . Таким чином підвищено реалістичність відтворення спекулярної складової кольору, оскільки обчислене значення відповідає закону збереження енергії (фіг.3).

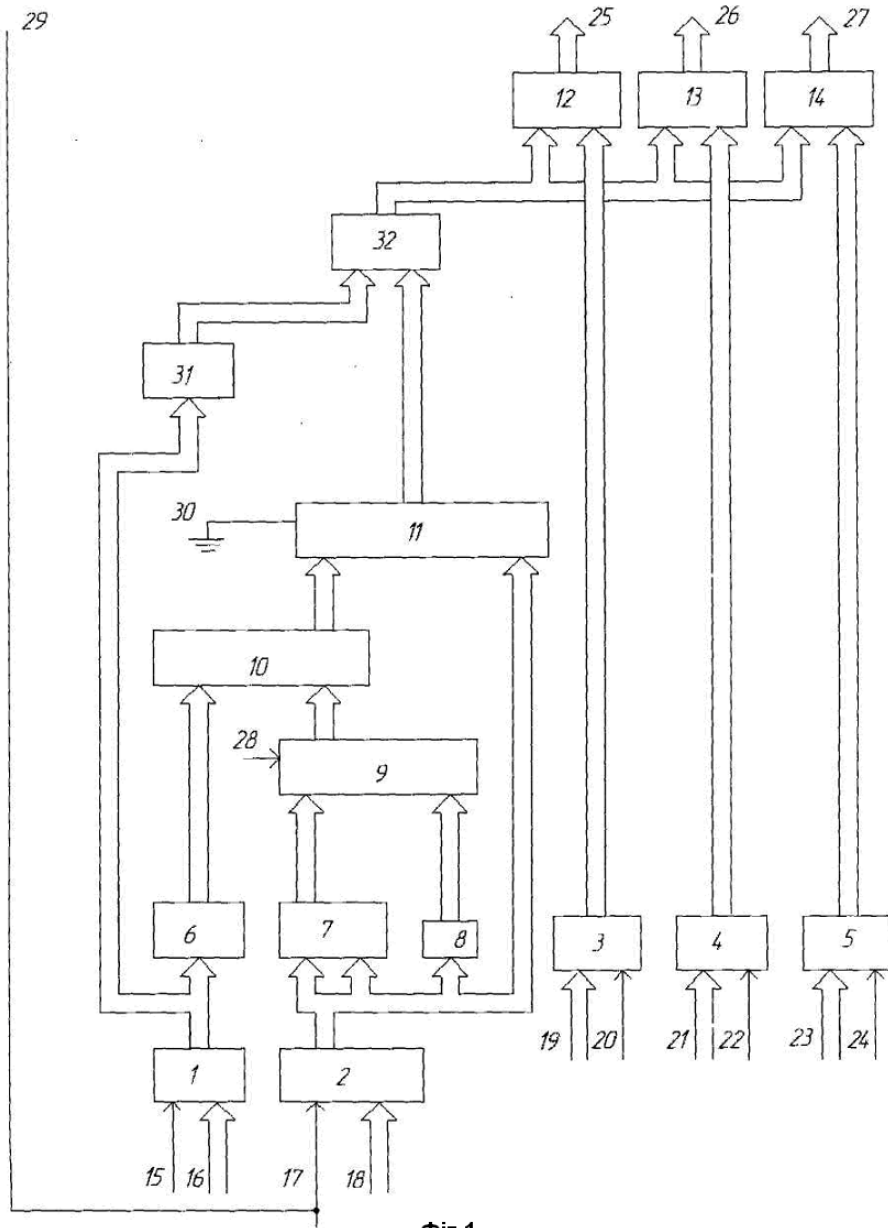


Fig. 1

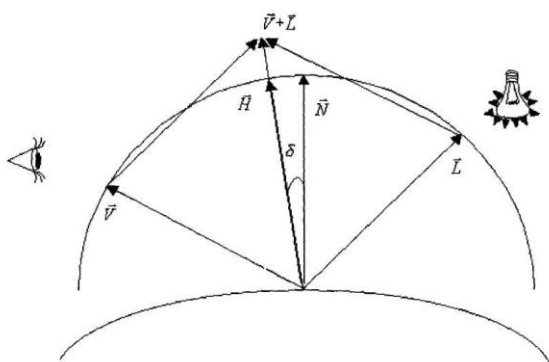


Fig. 2

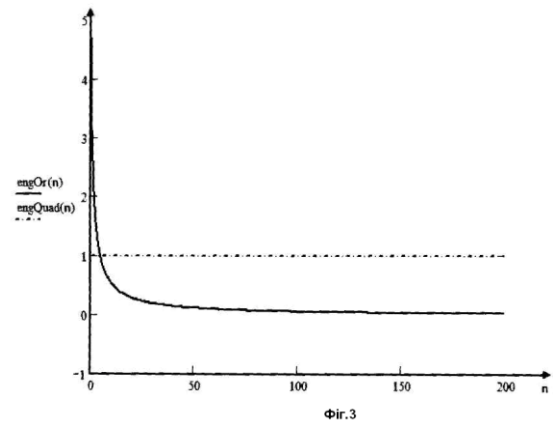


Fig. 3

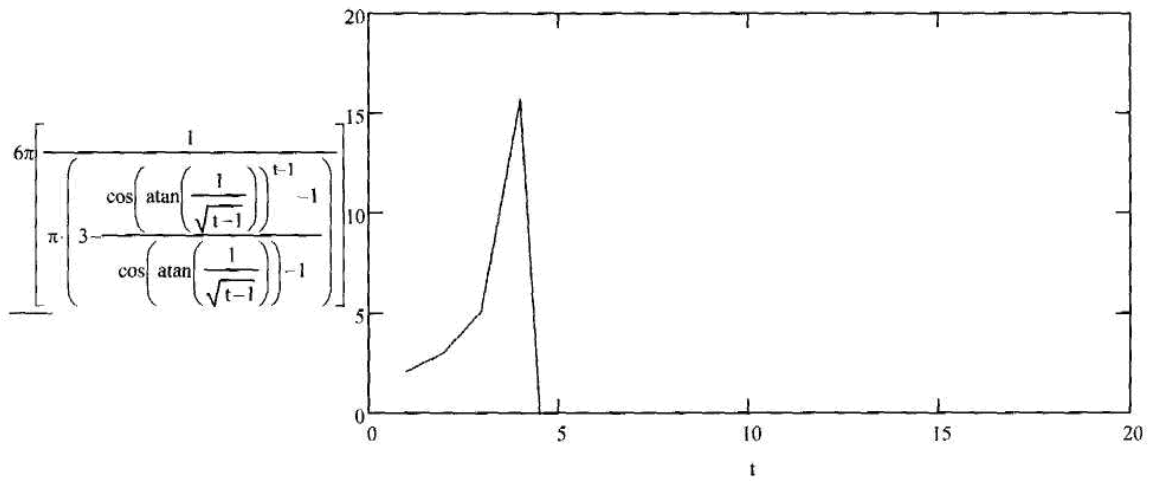


Fig.4

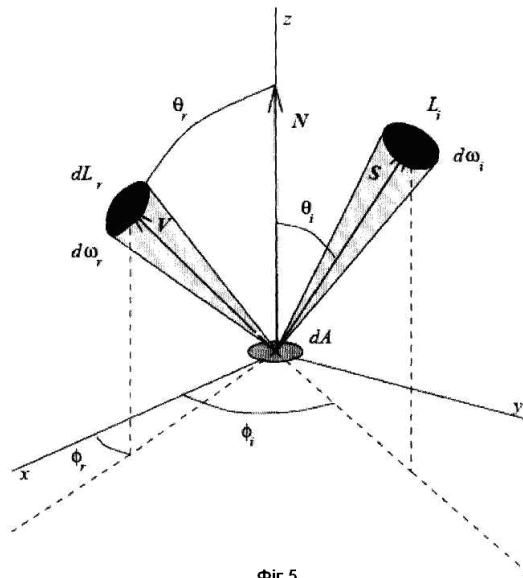


Fig.5