УДК 519.652:519.254

П.О.Приставка, А.В.Ассаул

ПОПОВНЕННЯ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ СТАНІВ НЕОДНОРІДНИХ ОБ'ЄКТІВ ПІД ЧАС РУХУ НА ПЛОЩИНІ

Подано постановку задачі та ілюстрацію роботи нового методу поповнення послідовностей станів неоднорідного об'єкту, що рухається на площині. Низька обчислювальна складність методу забезпечується використанням локальних операторів, на зразок сплайнів, близьких до інтерполяційних у середньому.

Постановка проблеми. Характерною особливістю математичної обробки цифрового відео є потреба в опрацюванні великих обсягів даних. Тому вимоги, що накладають на методи обробки, насамперед швидкодія, обмежують можливості представлення кінцевого результату та потребують постійного удосконалення як математичних процедур, так і апаратних засобів. На сьогодні деякі із задач обробки цифрового відео вже можна вирішувати у режимі реального часу: цифрова фільтрація та стабілізація на основі лінійних операторів; зміна лінійних розмірів кадру – процедури на основі subdivision-методів. Вирішення інших задач зараз та в найближчій перспективі залишається можливим лише при постфіксаційній обробці, де час опрацювання не вирішує ключового значення. Проте, зменшення часу обробки (іншими словами зниження обчислювальної складності метода обробки) залишається актуальною проблемою для дослідження.

Типовими задачами обробки цифрового відео є такі, що пов'язані з обробкою інформації про рухомі об'єкти: детектування об'єктів та їх траєкторій, боротьба зі змазом, стиснення даних. Окремо зосередимо увагу на задачі розрахунку місцеположення двовимірного об'єкта по заданій послідовності станів під час руху в довільний відлік часу. Вирішення даного питання відкриває перспективу генерування кадрів, що реально не фіксуються камерою, крім того даний підхід може бути актуальним при розробці нових методів стиснення цифрового відео із втратами.

Аналіз досліджень та постановка задачі. Існує два загальні підходи до вирішення задачі поповнення послідовності станів двовимірних неоднорідних рухомих об'єктів: спрайт-анімація [1] та на основі методів інтерполяції (наприклад, за використанням кривих Без'є [2]).

При використанні класичної спрайт-анімації за основу береться один об'єкт з накладеною на нього рівномірною сіткою. Переміщення об'єкта виконується в два етапи: переміщення та стиск рівномірної сітки; інтерполяція по новій сітці з використанням апаратного прискорення. При поповненні послідовності станів рухомого неоднорідного об'єкта, характеристики якого можуть суттєво змінюватись в різний момент часу, замість класичної спрайт-анімації використовують так званий «морфінг» спрайта. При обчисленні деякого проміжного стану об'єкта за основу беруться початковий та кінцевий стан, а далі проводиться поступове перетворення об'єкта з початкового до кінцевого стану. Даний метод повільніший за класичний, проте, надає змогу обчислювати проміжні стани рухомого об'єкта, що представлений послідовністю стані в деякі відліки часу. Відмітимо, що швидкодія даного метода обмежена великим обсягом розрахунків при підготовці кожного «морфінгу».

При інтерполяції послідовності станів двовимірного неоднорідного об'єкта багатовимірними кривими Без'є виникає проблема великого значення похибки на середині відрізків інтерполяції. Уникнути зростання похибки вдається при введенні додаткових «балансних» станів об'єкта. Проте це призводить до зростання кількості розрахунків, що є небажаним при великому обсязі даних, що надійшли до обробки.

Загалом можна виділити наступні типи руху об'єктів [2]:

- нерухома «камера», один об'єкт, постійний «фон»;
- нерухома «камера», декілька об'єктів, постійний «фон»;
- рухома «камера», відносно постійний «фон»;
- рухома «камера», декілька рухомих об'єктів.

Не зменшуючи загальності будемо вважати «камерою» будь-який пристрій фіксації, що реєструє двовимірну неоднорідну область. Під «фоном» розуміється область в стані спокою (немає жодного об'єкта). Розглядаючи «фон» як окремий об'єкт, який фіксує «камера», можна звести задачу до розрахунку положення декількох рухомих об'єктів – як скінчену послідовність задач розрахунку руху одного об'єкта.

Представимо модель руху двовимірного неоднорідного об'єкта на площині, що визначено ортогональними осями X та Y. Будемо вважати, що об'єкт обмежено деякою гладкою замкненою кривою l, яку задано параметрично: $l = l\left(x\left(j\right), y\left(j\right)\right)$, де j – параметр. Нехай існує деяка функція $f\left(x, y\right)$, що інтегрована вздовж кривої l. Тоді криволінійний інтеграл

$$D = \int_l f\left(x, y\right) dl$$

визначає геометричне місце точок об'єкта. В кожній точці об'єкта задано деяку функцію, що є його характеристикою (щільність, колір, тощо):

$$p(x,y),\ (x,y)\in D.$$

Об’єкт переміщається на площині, змінюючи протягом руху свої лінійні розміри та характеристику $p(x,y)$. Траєкторія руху геометричного центра об’єкта визначається деякою кривою $\gamma(x,y)$. Функції деформації лінійних розмірів – $kx(t)$, $ky(t)$, де t - час.

Тоді рухомий об’єкт являє собою функцію

$$g(t)=\left(p\left(x(t),y(t)\right),\quad \gamma\left(x(t),y(t)\right),\quad kx(t),\quad ky(t)\right), \tag{1}$$

яку можна задати послідовністю відліків

$$G=\left\{g\left(t_i\right)\right\}_{i\in Z}.$$

де

$$g\left(t_i\right)=\frac{1}{h_t}\int\limits_{t_i-0,5h_t}^{t_i+0,5h_t} g(\tau)\,d\tau+\varepsilon_\tau;$$

$h_t>0$ – крок між відліками часу;

ε_τ – деяка похибка.

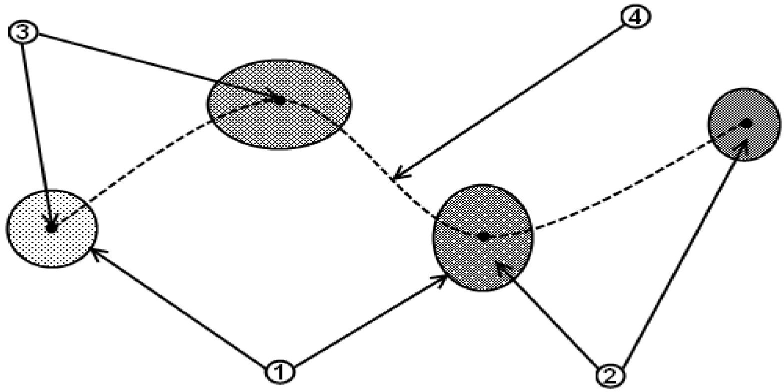

Рис. 1. Фрагмент послідовності руху об’єкта:. 1 – контури об’єкта $l(i)$;
2 – щільності об’єкта $p(i)$; 3 – центри об’єкта $\gamma(i)$;
4 – умовна траєкторія руху об’єкта γ.

Зауважимо, що час $t>0$, але не зменшуючи загальності, будемо вважати, що $i \in Z$. Більш того, якщо говорити про час «відносно» початку реєстрації станів рухомого об'єкту (формування послідовності G), то будемо у подальшому викладенні вважати, що

$$t_i = i$$

та аналогічно

$$p\left(x\left(t\left(i\right)\right), y\left(t\left(i\right)\right)\right) = p\left(x\left(i\right), y\left(i\right)\right) = p\left(i\right),$$

тощо (рис.1).

Якщо під «об'єктом» розуміти цифрове зображення, то для i -го відліку можемо записати:

$$p\left(x\left(i\right), y\left(i\right)\right) = \overline{p}\left(x\left(i\right), y\left(i\right)\right) + \varepsilon_{x,y}, \tag{2}$$

де

$$\overline{p}\left(x\left(i\right), y\left(i\right)\right) = \frac{1}{h_x h_y} \int\limits_{x(i)-0,5h_x}^{x(i)+0,5h_x} \int\limits_{y(i)-0,5h_y}^{y(i)+0,5h_y} p\left(\phi\left(i\right), \varphi\left(i\right)\right) d\phi d\varphi$$

– квантоване значення інтенсивності відбиття світла від об'єкту в картинній площині; для растру $h_x = 1$, $h_y = 1$, тож

$$\overline{p}\left(x\left(i\right), y\left(i\right)\right) = \int\limits_{x(i)-0,5}^{x(i)+0,5} \int\limits_{y(i)-0,5}^{y(i)+0,5} p\left(\phi\left(i\right), \varphi\left(i\right)\right) d\phi d\varphi;$$

$\varepsilon_{x,y}$ – деяка похибка.

Із аналогічних міркувань

$$\gamma\left(x\left(i\right), y\left(i\right)\right): \begin{cases} x\left(i\right) = \int\limits_{x(i)-0,5}^{x(i)+0,5} x\left(\phi\right) d\phi + \varepsilon_x, \\ y\left(i\right) = \int\limits_{y(i)-0,5}^{y(i)+0,5} y\left(\varphi\right) d\varphi + \varepsilon_y, \end{cases} \tag{3}$$

де ε_x , ε_y - деякі похибки.

Припустимо, що усі функції, про які мова в даному викладенні належать до класу гладких функцій C другого та вище порядку по кожному з аргументів.

Поставимо за мету у подальшому викладенні подати метод апроксимації об'єкта (1) підчас руху на площині за послідовністю G на основі сплайн-операторів, близьких до інтерполяційних у середньому. Вибір саме таких операторів обумовлений специфікою даних (2) – (3), на основі яких буде проводитись апроксимація, обчислювальною простотою та добре відомими асимптотичними властивостями [3-4].

Виклад основного матеріалу. Для розрахунку стану об'єкта у деякий відлік часу $i+\Delta i$, $\Delta i<1$ проведемо перехід від абсолютної до відносної системи координат:

$$p\left(x'(i),y'(i)\right):\begin{cases} x'(i)=\dfrac{x(i)-\gamma^{x}(i)}{kx(i)}, \\ y'(i)=\dfrac{y(i)-\gamma^{y}(i)}{ky(i)}, \end{cases}$$

$$\gamma'\left(x'(i),y'(i)\right):\begin{cases} x'(i)=0, \\ y'(i)=0, \end{cases}$$

$$kx'(i)=1,$$

$$ky'(i)=1.$$

Тоді позицію об'єкту в момент часу $i+\Delta i$ можна визначати так:

$$g(i+\Delta i)=\left(p\left(x\left(i+\Delta i\right),y\left(i+\Delta i\right)\right),\gamma\left(x\left(i+\Delta i\right),y\left(i+\Delta i\right)\right),kx\left(i+\Delta i\right),ky\left(i+\Delta i\right)\right)$$

де:

$$kx\left(i+\Delta i\right)=S(kx^{i},i+\Delta i);$$

$$ky\left(i+\Delta i\right)=S(ky^{i},i+\Delta i);$$

$$\gamma\left(x\left(i+\Delta i\right),y\left(i+\Delta i\right)\right):\begin{cases} S(\gamma^{x,i},i+\Delta i), \\ S(\gamma^{y,i},i+\Delta i); \end{cases}$$

$$p\left(x\left(i+\Delta i\right),y\left(i+\Delta i\right)\right)=A(p(x',y')^{i});$$

$$A\left(p^{x',y',i+\Delta i}\right)=S\left(p(x',y')^{i},x'(i)*kx(i+\Delta i)+\gamma^{x}(i+\Delta i),x'(i)*ky(i+\Delta i)+\gamma^{y}(i+\Delta i),i+\Delta i\right);$$

$S\left(a^{i},t\right)$ – одновимірний сплайн близький до інтерполяційних у середньому [3-4];

$S\left(a^{x,y,i},t_1,t_2,t_3\right)$ – тривимірний сплайн близький до інтерполяційних у середньому [4-5].

Нижче наведено графічну ілюстрацію роботи метода (рис. 2) – розраховану траєкторію руху об'єкта в проміжок часу [*i*-1; *i*+2] та розрахований стан об'єкта у $i+\Delta i$ відлік часу.

Для зменшення обчислювальної складності роботи викладеного метода можна запропонувати використовувати subdivision-оператори, замість явних виглядів сплайнів в складі оператора $A(\bullet)$. Наприклад, для розрахунку місця положення об’єкта можна використати такий одновимірний оператор бінарного поповнення [4], а для розрахунку кольорової складової обирати тривимірний оператор бінарного поповнення наведений, наприклад, в [5].

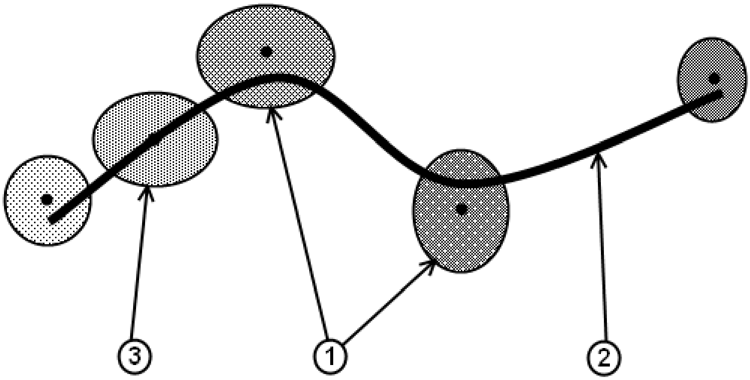

Рис 2. Ілюстрація роботи метода. 1 – елементи початкової послідовності;
2 – розрахована траєкторія руху об’єкта $l(t)$;
3 – стан об’єкта у проміжний відлік часу.

Проілюструємо роботу поданого методу. Згенеруємо послідовність з чотирьох станів графічного об’єкта: стани «0», «1», «2», «3» (рис.3). На основі даної послідовності розрахуємо стан о’єкта в «1,5»-ий відлік часу викладеним методом. Під щільністю в даному випадку будемо розуміти трійку кольорових складових кожного піксела об’єкта в просторі RGB.

Як бачимо (рис 3) зображення відтворене в проміжний відлік часу не має візуальних артефактів та повністю передає динаміку зміни розміру та положення об’єкта.

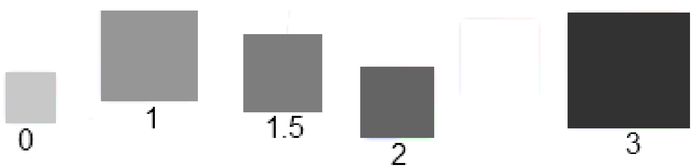

Рис 3. Бінарне поповнення послідовності станів двовимірного графічного об’єкта (стан «1,5»).

Висновки. В даній статті було подано математичне представлення послідовності станів руху двовимірного неоднорідного об’єкта у площині, та запропоновано математичний апарат поповнення відліків даної послідовності. Попередня обробка та нормування послідовності станів об’єкта дозволяють зменшити обсяг обчислень за рахунок можливості використання одновимірних локальних лінійних операторів. Використання тривимірного локального лінійного оператора підчас розрахунку щільності інтерпольованого об’єкта дозволяє підвищити точність інтерполяції при невеликих збільшеннях обсягів обчислень. З іншого боку, у випадках коли складність розрахунків є більш критичним фактором ніж точність, можливо використовувати одновимірний локальний лінійний оператор.

Варто зазначити, що можливе суттєве зменшення кількості простіших арифметичих операцій при попередньому накладанні регулярної сітки на нормовану послідовність. Дану модифікацію доцільно застосовувати при обробці відео високої якості. Крім цього, важливим є той факт, що подана обчислювальна схема легко розширюється до n-вимірного випадку при застосуванні n-вимірного сплайну для розрахунку «щільності» об’єкта у замкненій області.

При подальших дослідження планується створити автоматизовану систему обробки цифрового відео високої роздільної здатності з використанням даного метода та його модифікацій.

Література.

1. Шикин Е. В., Боресков А. В. Компьютерная графика. Полигональные модели. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001. – 464с.

2. Дональд Херн, М. Паулин Бейкер. Компьютерная графика и стандарт OpenGL, 3-е издание. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 1168с.

3. Лигун А.А., Шумейко А.А. Асимптотические методы восстановления кривых. – К.: ІМ НАН України, 1996. – 358с.

4. Приставка П. О. Поліноміальні сплайни при обробці даних: Монографія. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. – 236с.

5. Приставка П.О. Лінійні оператори поповнення послідовностей відліків функцій трьох змінних на основі поліноміального сплайну // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій : Зб. наук. праць. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту. – 2009. – Т.13. – С.18-28.