

*В.М. КАРТАШОВ, д-р техн. наук, И.В. КОРЫТЦЕВ, канд. техн. наук,  
Г.И. СИДОРОВ, канд. техн. наук, А.П. ШАМРАЙ*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ МУЛЬТИМЕДИЙНОГО СТРЕЛКОВОГО КОМПЛЕКСА

### Введение

Универсальный мультимедийный стрелковый комплекс (УМСК) обеспечивает формирование навыков стрельбы из огнестрельного оружия, а также из макетов оружия с лазерными вставками.

Стрелок производит выстрел из огнестрельного или пневматического оружия по экрану, на который проецируется изображение видеомишеней, либо видеосюжеты, хранящиеся в памяти компьютера. В тканевом или пленочном экране образуется пробоина. Координаты пробоины оцениваются видеоизмерителем. Положение пробоины сопоставляется с положением мишени или видеосюжета и оценивается результат стрельбы [1] (рис. 1).

При стрельбе из макета оружия с лазерным излучателем "пробоиной" является кратковременное пятно, образуемое лазерным лучом на экране.

Важными параметрами мультимедийного стрелкового комплекса являются:

- точность определения координат пробоины;
- промежуток между выстрелами;
- количество одновременно обрабатываемых целей.

Назначение и возможности УМСК определяются в значительной степени содержанием проецируемых на экране видеосюжетов или видом используемых мишеней. При этом могут использоваться различные типы мишеней – обычная, с концентрическими кругами, грудная мишень человека и др. Перемещаться мишени могут по различным траекториям, например дискретно из одной точки экрана в другую, либо плавно в пределах экрана по траектории определенного вида: по прямой, параболе, по отрезкам прямых, сопряженных с выразами.

Содержание проецируемого на экран изображения далее будем называть динамической обстановкой. Предметом данной статьи является рассмотрение вопросов моделирования динамической обстановки универсального мультимедийного стрелкового комплекса, проецируемой на экран УМСК.

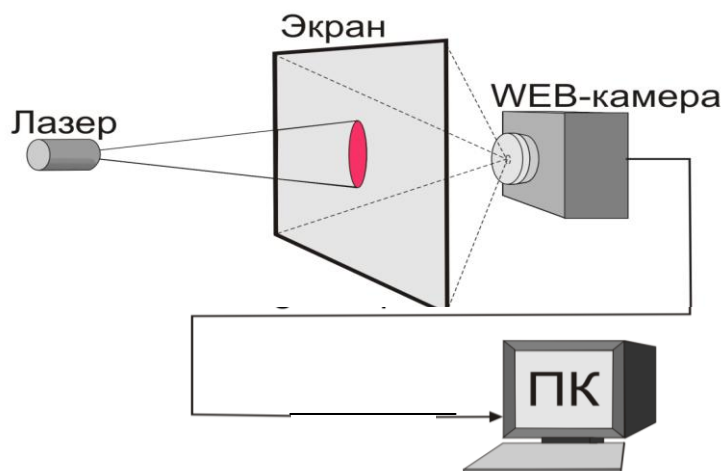


Рис. 1. Упрощенная структура системы обработки сигналов мультимедийного стрелкового комплекса

Задача моделирования динамической обстановки распадается на моделирование последовательности моментов времени и координат точек появления мишеней, моделирование типа и скорости перемещения цели, моделирование траектории перемещения мишени в зоне экрана УМСК.

### Моделирование последовательности моментов времени и координат точек появления мишеней

Моменты времени появления мишеней в зоне экрана УМСК образуют случайный поток событий. В установившемся режиме работы УМСК на достаточно продолжительном интервале времени этот поток можно представить в виде потока однородных событий, обозначаемых  $t_{01}, t_{02}, \dots, t_{0k}$ .

Последовательность  $\{t_{0k}\}$  можно представить в следующем виде

$$\begin{aligned} t_{01} &= \tau_1, \\ t_{02} &= \tau_1 + \tau_2, \\ t_{03} &= \tau_1 + \tau_2 + \tau_3, \\ t_{0k} &= \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_i + \dots + \tau_k, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\tau_i$  – случайная величина, определяющая длину временного интервала между последовательными моментами  $t_{0i}$

Для определения этой последовательности должен быть задан закон распределения  $\tau_i$ . В частности, можно предположить, что поток мишеней, появляющихся в зоне экрана УМСК, описывается экспоненциальным законом [2]

$$\omega(\tau) = \Lambda \exp(-\Lambda\tau), \tau > 0, \quad (2)$$

где  $\Lambda$  – параметр потока, равный математическому ожиданию числа целей, появляющихся в зоне экрана УМСК в единицу времени.

Случайные числа  $\{\tau_i\}$  с плотностью распределения  $\omega(\tau)$  могут быть получены с помощью компьютера путем преобразования последовательности псевдослучайных чисел  $\{\xi_i\}$ , равномерно распределенных в интервале (0, 1).

В случае потока, описываемого выражением (2), между случайными числами  $\xi_i$  и  $\tau_i$  существует следующая аналитическая зависимость

$$\tau_i = -(\ln(1 - \xi_i))/\Lambda, \quad (3)$$

которая позволяет решить поставленную задачу [3].

Таким образом, моделирование моментов появления мишеней в зоне экрана УМСК сводится к выполнению следующих операций: выборки последовательности случайных чисел, равномерно распределенных в интервале (0, 1); вычисления значений  $\tau_i$  по формуле (3); определения моментов появления  $t_{0i}$  по формуле (1).

Кроме моментов времени появления мишеней, необходимо также моделировать координаты точки появления каждой цели в зоне экрана УМСК. Появление и перемещение целей на экране УМСК имеет случайный характер. Прямоугольные координаты целей получаются при помощи псевдослучайных чисел  $\xi_i$ .

Прямоугольные координаты точки появления  $i$ -й цели определяются с помощью формул

$$\begin{cases} x_{0i} = a \xi_i \\ y_{0i} = b \xi_i \end{cases}, \quad (4)$$

где  $a$  и  $b$  – длина и ширина экрана УМСК соответственно.

Данные о моменте времени  $t_{0i}$  и координатах точки появления  $x_{0i}, y_{0i}$  характеризуют начальную опорную точку траектории перемещения  $i$ -й мишени и используются в дальнейшем при расчете координат точек нахождения мишени в зоне экрана.

## Моделирование типа и скорости перемещения цели

При создании модели динамической обстановки необходимо исходить из того, что в зоне экрана могут появляться мишени различных типов и различных скоростей перемещения. Учет разнотипности целей может быть произведен следующим образом.

Составляется таблица, в которой для всех предполагаемых типов мишеней записываются скорости движения:

Тип мишени	Скорость				
1	$V_1$	$V_2$	$V_3$	...	$V_m$
2					
...					
k					

Эта таблица хранится в ЗУ компьютера. Далее считается, что появление в зоне экрана мишени того или иного типа носит вероятностный характер, поэтому исходя из анализа предполагаемой динамической обстановки заранее устанавливаются вероятности появления указанных в таблице типов мишеней. Обозначим эти вероятности  $p_1, p_2, \dots, p_k$  и предположим, что выполняется условие нормировки

$$\sum_{i=1}^k p_i = 1, \quad (5)$$

Тогда процедура моделирования типа мишени состоит в сравнении случайного числа  $\xi_i$ , распределенного по равномерному закону в интервале  $(0, 1)$ , с величинами  $P_{l-1}$  и  $P_l$ , определяемыми по формулам

$$P_{l-1} = \sum_{i=1}^{l-1} p_i, \quad P_l = \sum_{i=1}^l p_i, \quad (l = \overline{1, k}).$$

Выбирается тот тип мишени  $l$ , для которого выполняется условие [4]

$$P_{l-1} \leq \xi_i < P_l.$$

После того как выбран тип мишени, выбирается скорость ее перемещения. Согласно таблице изначально может быть задано  $k$  типов мишеней. Каждому типу мишени может быть присвоено любое из заданных значений скорости перемещения, в том числе с помощью алгоритма случайного выбора, использованного при выборе типа мишени.

Таким образом, в процессе моделирования типа и скорости движения мишени получается модуль вектора скорости движения мишени. Эти данные также используются при формировании новых точек траектории перемещения мишени.

## Моделирование траектории перемещения мишени в зоне экрана УМСК

При моделировании траектории движения мишени в зоне экрана УМСК могут быть приняты следующие исходные предпосылки (рис. 2):

1. Начальной точкой траектории в зоне экрана является точка появления мишени, координаты которой имеют случайный характер.

2. Вся траектория движения мишени в зоне экрана УМСК состоит из участков прямолинейного движения и участков виража.

Уточним некоторые из перечисленных предпосылок для детализации и упрощения задачи. Изложенные выше общие соображения и предпосылки относятся к построению модели траектории перемещения мишени, появляющейся в зоне экрана УМСК. Вся площадь экрана разбита на четыре зоны, условно обозначенные цифрами 1, 2, 3, 4.

Наметим теперь формульную схему расчета параметров траектории движения мишеней в зоне экрана УМСК. Очевидно, траектория будет задана, если будут известны:

- координаты начальной точки траектории А  $(x_0, y_0)$ ,
- скорость  $V_{\text{п}}$  движения на прямолинейном участке и угол  $\alpha_0$ ,
- координаты конечной точки траектории D  $(x_2, y_2)$ ,
- скорость движения на участке виража  $V_{\text{в}}$ ,
- радиус виража  $R_{\text{в}}$ ,
- координаты центра окружности виража С  $(x_{\text{ц}}, y_{\text{ц}})$ ,
- координаты точки сопряжения прямолинейного и криволинейного участков траектории В  $(x_1, y_1)$ ,
- глубина виража  $\varphi_{\text{в}}$ .

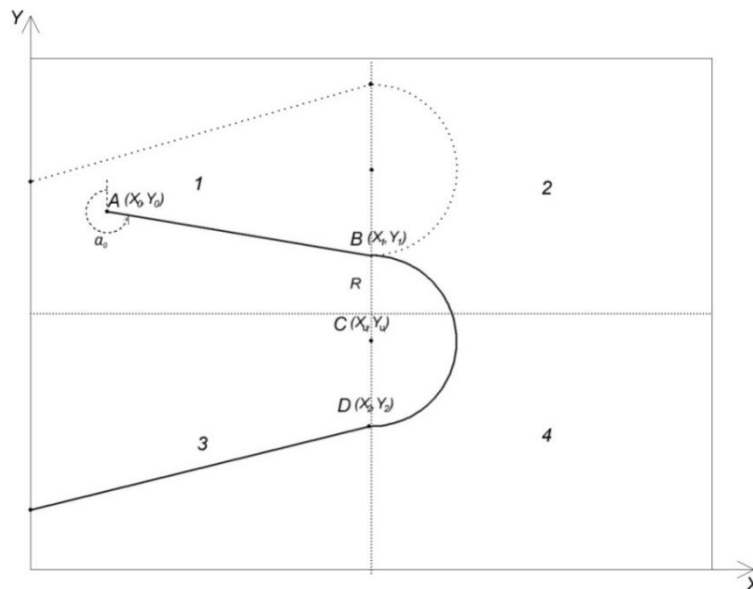


Рис. 2. Моделирование траекторий в зоне экрана УМСК

Такие параметры, как координаты начальной и конечной точек траектории, скорость на прямолинейном участке и на участке виража, радиус виража должны быть заданы в исходных данных. Координаты точки сопряжения прямолинейного и криволинейного участков траектории определяются по достижении траектории границ области. Расчет остальных параметров производится в следующей последовательности.

1. Определение координаты центра окружности виража:

$$x_{\text{ц}} = x_2 + R_{\text{в}}, \text{ (если вираж левый),}$$

$$x_{\text{ц}} = x_2 - R_{\text{в}}, \text{ (если вираж правый).}$$

2. Глубина виража  $\varphi_{\text{в}}$  находится по одной из следующих формул:

а) если маневр правый,

$$\varphi_{\text{в}} = \pi - \arctg \frac{x_1 - x_{\text{ц}}}{y_1 - y_{\text{ц}}} \text{ при } x_1 \leq x_{\text{ц}}, \quad y_1 > y_{\text{ц}},$$

$$\varphi_{\text{в}} = \frac{\pi}{2} + \arctg \frac{y_1 - y_{\text{ц}}}{x_1 - x_{\text{ц}}} \text{ при } x_1 > x_{\text{ц}}, \quad y_1 \leq y_{\text{ц}},$$

$$\varphi_{\text{в}} = \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{y_{\text{ц}} - y_1}{x_1 - x_{\text{ц}}} \text{ при } x_1 > x_{\text{ц}}, \quad y_1 \geq y_{\text{ц}},$$

б) если маневр левый,

$$\varphi_{\text{в}} = \pi - \arctg \frac{x_{\text{ц}} - x_1}{y_{\text{ц}} - y_1} \text{ при } x_1 \leq x_{\text{ц}}, \quad y_1 < y_{\text{ц}},$$

$$\varphi_m = \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \frac{y_{ц} - y_1}{x_1 - x_{ц}} \quad \text{при } x_1 > x_{ц}, \quad y_1 \leq y_{ц},$$

$$\varphi_m = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{y_1 - y_{ц}}{x_1 - x_{ц}} \quad \text{при } x_1 > x_{ц}, \quad y_1 \geq y_{ц}.$$

3. Угол  $\alpha_0$ , определяющий направление движения мишени на линейном участке траектории, определяется из соотношений (для правого выража):

$$\alpha_0 = \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \frac{y_0 - y_1}{x_0 - x_1}, \quad \text{при } x_0 > x_1, \quad y_0 > y_1,$$

$$\alpha_0 = \pi \quad \text{при } x_0 = x_1, \quad y_0 > y_1,$$

$$\alpha_0 = \pi + \operatorname{arctg} \frac{x_1 - x_0}{y_0 - y_1}, \quad \text{при } x_1 > x_0, \quad y_0 > y_1,$$

$$\alpha_0 = \frac{3\pi}{2} \quad \text{при } y_0 = y_1, \quad x_1 > x_0,$$

$$\alpha_0 = \frac{3\pi}{2} + \operatorname{arctg} \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}, \quad \text{при } x_1 > x_0, \quad y_1 > y_0.$$

Аналогичные выражения для случая левого выража могут быть получены непосредственно из рис. 2.

После вычислений в ЗУ компьютера записываются отдельно параметры линейного участка траектории  $(x_0, y_0, V_{п}, \alpha_0, N_{п})$  и участка выража  $(x_1, y_1, V_{м}, \varphi_m, N_{м})$ .

Таким образом, в рассматриваемом случае процесс моделирования траектории в зоне экрана УМСК состоит в следующем. Сначала моделируется момент появления мишени в зоне экрана как очередное событие случайного потока однородных событий. Затем при фиксированном моменте  $t_{вх}$  моделируются плоскостные координаты начальной точки траектории  $(x_0, y_0)$  и скорость  $V_{п}$  движения мишени. Далее траектория мишени строится в виде сопряженных участков: прямолинейного и кругового.

### Заключение

В статье разработана математическая модель формирования динамической обстановки для мультимедийного стрелкового тренажера, предназначенного для выполнения развлекательных функций или для тренировки сотрудников специальных подразделений. Алгоритм моделирования включает:

- моделирование последовательности моментов времени и координат точек появления мишеней;
- определение одного из совокупности заданных типов мишеней;
- выбор скорости перемещения мишени в пределах экрана;
- определение вида траектории: прямолинейный участок, прямолинейный участок и вираж, прямолинейный участок и два виража и параметров выбранной траектории.

Разработанные в статье математические модели позволяют формировать динамическую обстановку на экране УМСК в соответствии с предъявляемыми к комплексу требованиями.

**Список литературы:** 1. *Спосіб визначення координат точки влучення кулі у відеомішень при навчанні стрільби та пристрій для його здійснення* : Патент на винахід №95007. Україна. МПК F41G3/26 / О.В. Зубков, І.В. Коритцев, Г.І. Сидоров, Я.Г. Сидоров – №а2009 12569; Заяв. 04.04.2009; Опубл. 25.06.2011, Бюл. №12. – 3 с. 2. *Ситнік, О.В., Карташов, В.М.* Радіотехнічні системи. – Х. : СМІТ, 2009. – 448 с. 3. *Коростелев, Л.А.* Пространственно-временная теория радиосистем. – М. : Радио и связь, 1987. – 319 с. 4. *Поляк, Ю.Г.* Вероятностное моделирование на электронных вычислительных машинах. – М. : Сов. радио, 1971. – 400 с.

Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 15.01.2012