

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕАЛИСТИЧНЫХ ЛАНДШАФТОВ ДЛЯ ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ НАЗЕМНОЙ ТЕХНИКИ

д.т.н. П.А. Качанов, А.А. Зуев, О.Г. Васильченков

Рассмотрены различные методы построения ландшафтов, приведена сравнительная характеристика данных методов. Приведен новый метод построения ландшафтов, устраняющий ряд недостатков существующих методов.

Постановка проблемы. Сегодня в связи с быстрыми темпами развития науки и техники, появляются все новые и новые виды транспортных средств, возрастает их общее количество и сложность управления ими. В связи с этим требуется все большее количество лиц, которые умеют квалифицированно обслуживать и управлять этими транспортными средствами. Обучение персонала непосредственно на технике весьма дорого, в процессе этого тратятся горюче-смазочные и другие расходные материалы, сокращается моторесурс техники. Более того, обучение непосредственно на технике не всегда возможно в полном объеме, а работа неподготовленных лиц часто приводит к выходу из строя различных узлов и агрегатов и, соответственно, дорогостоящему ремонту.

Для обучения возможно использование различных видеоматериалов, наглядных пособий, учебных стендов и др. [1]. Но наибольшую эффективность обеспечивают интерактивные тренажеры транспортных средств на основе вычислительной техники. В состав таких тренажеров обычно входит кабина водителя с полной или частичной имитацией внутренней обстановки. Перед кабиной располагается экран с имитацией окружающей обстановки, от реалистичности отображения обстановки которой во многом зависит качество обучения.

По данным финансово-бюджетной комиссии конгресса США расходы на закупку учебно-тренировочных средств для сухопутных войск США увеличились с 195,3 млн. в 1982 году до примерно 4 млрд. долларов в 2001 году [2]. Характер зависимостей затрат на обучение и формирования стоимости обучения в ходе учебного процесса при использовании в учебном процессе только учебно-боевых машин и машин в комплексе с техническими средствами подготовки представлен в [3]. Важнейшей частью в любой системе имитации окружающей обстановки для наземных транспортных средств является отображение рельефа местности.

Анализ литературы. Существует несколько основных методов моделирования и отображения рельефа местности.

Моделирование рельефа местности при помощи сетки треугольников. Исходная сетка ландшафта оптимизируется [4] и на ее основе вычисляются высоты и материалы для физической модели ландшафта и системы визуализации. К достоинствам этого метода можно отнести высокую скорость визуализации, относительную простоту и изученность алгоритмов визуализации и построения данных для сетки ландшафта, а также поддержку со стороны видеоускорителей трехмерной графики. Однако метод обладает и рядом существенных недостатков – для построения сетки ландшафта с малой дискретностью необходимы очень большие объемы данных, что приводит к падению скорости визуализации и ограничению дальности видения (типичная дискретизация ландшафта свыше 10 м при 5 км дальности видения). Этот недостаток компенсируется введением разных уровней детализации для ландшафта, но это, в свою очередь, ведет к существенному усложнению алгоритмов визуализации и подготовки данных [5, 6]. Для данного метода относительно медленным является поиск высоты в заданной точке и, что особенно важно, сложность организации деформации поверхности и ограничение на количество деформаций. Поэтому, во многих современных тренажерах, использующих данный метод моделирования ландшафта деформации поверхности не производятся. При малом числе треугольников в ландшафте нереально передается структура ландшафта (треугольные и квадратные холмы и горы), особенно это сказывается при увеличении, т.е. при имитации оптического наблюдения, что приводит к потере ориентации обучаемым. Из-за низкой детализации текстур, обучаемым неправильно воспринимается скорость движения транспортного средства. Также существенной является конечность карты, по которой движется транспортное средство, и для скрытия этого факта карты ландшафта строятся с возвышенностями или преградами по краям, которые не преодолеваются имитируемым транспортным средством (горы, лес), что вызывает ощущение замкнутости пространства, и не всегда приемлемо, например, на равнинных степных ландшафтах.

Моделирование ландшафта с использованием воксельных карт поверхности. Воксельные карты в простейшем случае (для двумерной поверхности) представляют собой двумерный массив чисел, каждое число которого соответствует высоте в данной точке поверхности. Данный метод обеспечивает легкость и высокую скорость нахождения высоты по заданным координатам, а также высокую дальность обзора (свыше

10 км) практически без снижения производительности, и при этом высокую степень детализации поверхности (менее 0,015 м) при использовании карт субвысот. Для этого метода легко реализуется непрерывное пространство и обеспечивается «бесконечное» количество деформаций ландшафта. Но этот метод имеет недостаток – все вычисления, а также визуализация ландшафта производятся при помощи центрального процессора, и практически не ускоряются современными видеоускорителями.

Моделирование ландшафта кривыми высоких порядков применяется редко из-за очень больших вычислительных затрат и практически не поддерживается современными видеоускорителями.

Комбинированный метод. Для физического моделирования ландшафта используются воксельные карты, а для визуализации сетка треугольников. В этом случае полностью используются возможности видеоускорителей, легко определяется высота и проводятся модификации ландшафта, но это никак не отображается системой визуализации. Кроме того к недостаткам данного метода следует отнести необходимость хранения двух карт ландшафта – воксельной и сетки треугольников, и необходимость преобразования сетки треугольников в воксельную карту высот.

Сравнительная характеристика методов визуализации ландшафта приведена в табл. 1.

Таблица 1
Сравнительная характеристика методов визуализации ландшафта

Метод	Возможность аппаратной визуализации	Загрузка процессора	Затраты памяти	Зависимость времени поиска высоты от кол-ва треугольников	Деформации	Адекватность визуализации деформаций	Типичная детализация	Типичная дальность обзора	Смена детализации при увеличении	Бесконечность ландшафта	Качество визуализируемого ландшафта
Сетка треугольников	Да	Низкая/средняя	Низкие/средние	линейная/логарифм.	Конечные	Да	10 – 15м	< 5км	Нет	Нет	Низкое
Воксельные карты	Нет	Очень высокая	Высок.	не зависит	Бесконечные	Да	< 0,015м	> 10км	Да	Да	Высокое
Кривые высоких порядков	Практ. нет	н/д	н/д	н/д	н/д	Да	н/д	н/д	н/д	н/д	Высокое
Комбинированный метод	Да	Низкая	Очень высокие	не зависит	Бесконечные	Нет	2 – 0,25м	< 5км	Нет	Нет	Низкое
Предложенный метод	Да	Средняя	Высок.	не зависит	Бесконечные	Да	1/265м	до 8км	Да	Да	Высокое

Цель статьи. В статье предлагается метод построения и визуализации ландшафтов для наземной техники, который не содержит большинства недостатков перечисленных выше методов, сохраняя при этом их достоинства.

Предлагаемый метод. Суть предлагаемого метода состоит в следующем.

Задаются исходные данные для данного метода: положение камеры точка $A(x_0, y_0)$; направление «взгляда» камеры по азимуту β ; угол зрения камеры φ ; увеличение камеры z .

Далее точки A трассируются лучи в секторе от $\beta - \frac{\varphi}{2 \cdot z}$ до $\beta + \frac{\varphi}{2 \cdot z}$.

Количество лучей сканирования q определяется из уравнения

$$q = \varphi / d\varphi + 1, \quad (1)$$

где $d\varphi$ – шаг угла сканирования, выбираемый экспериментально, исходя из необходимого качества изображения и производительности графической подсистемы (типичные значения 1 – 3 градуса).

Направление i -го луча сканирования по азимуту вычисляется по следующей формуле:

$$\beta_i = \beta - \frac{\varphi}{2 \cdot z} + i \cdot d\varphi. \quad (2)$$

На каждом луче строятся точки, их положение на луче s_t определяется уравнением, которое имеет вид

$$s_t = s_0 + v_0 t + \frac{a t^2}{2}, \quad (3)$$

где v_0 – начальная скорость сканирования; a – ускорение сканирования; t – номер точки на луче; s_0 – начальный шаг сканирования (шаг дискретизации сетки высот).

Максимальное количество точек на луче (t_{\max}) выбирается экспериментально, исходя из необходимого качества изображения и производительности графической подсистемы, а также заданной величины дальности горизонта h .

Ускорение сканирования вычисляется из уравнения

$$h = s_0 + v_0 t_{\max} + a t_{\max}^2 / 2, \quad (4)$$

после преобразования

$$a = 2(h - s_0 - v_0 t_{\max}) / t_{\max}^2. \quad (5)$$

Отсюда следует, что координаты точки $A_{i,t}(x, y)$ создаваемого ландшафта вычисляются следующим образом:

$$x = s_t \cdot \sin(\beta_i) + x_0; \quad y = s_t \cdot \cos(\beta_i) + y_0, \quad (6)$$

где $t = 0 \div t_{\max}$, $i = 0 \div q$.

Количество треугольников в полученной аппроксимации ландшафта может быть получено из следующего уравнения:

$$T = t_{\max} \cdot q \cdot 2. \quad (7)$$

Исходные данные для визуализации полученной аппроксимации – массив высот, материалов и освещенности.

В список вершин добавляются точки с координатами, вычисленными по формуле (6), для каждой точки по координатам выбирается освещенность, материал и высота. Далее строится список индексов, определяющий треугольники. Оба этих списка отсылаются в видеоускоритель, трансформируются и визуализируются.

Для ближнего уровня деталей строится карта с фиксированным шагом $s = 1$. На этот уровень накладываются детальные текстуры для повышения реалистичности изображения.

Так как карты высот и материалов представляют собой обычные массивы, деформация высот и изменение материалов осуществляется при помощи замены одного значения высоты или материала другим, далее производится перерасчет освещенности для измененных ячеек.

Примеры визуализации ландшафта по данному методу приведены на рис. 1 для увеличения 1,0 и на рис. 2 и 3 для увеличения 6,0 и 12,0 соответственно.

Деформация ландшафта показана на рис. 4.

Выводы. Преимущества предложенного метода можно сформулировать следующим образом:

- для физического моделирования и визуализации ландшафта используется одна и та же карта высот и материалов, все модификации ландшафта адекватно отражаются системой визуализации;

- высокая детализация ландшафта, изменяемая карта высот с дискретизацией 1 м, и константные карты субвысот с дискретизацией до 1/256 метра;

- высокая дальность видения без существенного падения производительности или снижения дискретизации (до 8 км);

- «бесконечность» ландшафта, движение транспортного средства не ограничено какими-то рамками или границами;

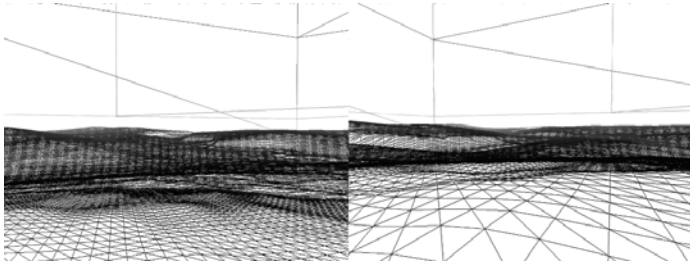


Рис. 1. Ландшафт, увеличение 1,0

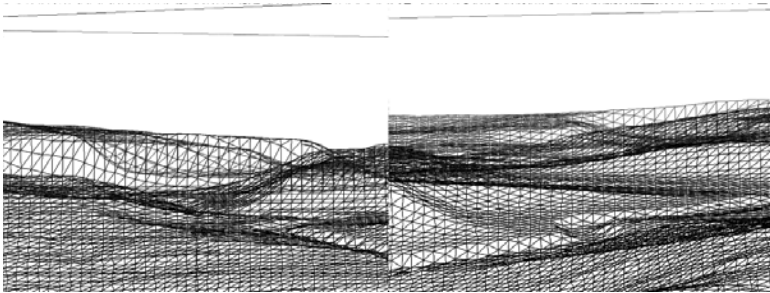


Рис. 2. Ландшафт, увеличение 6,0

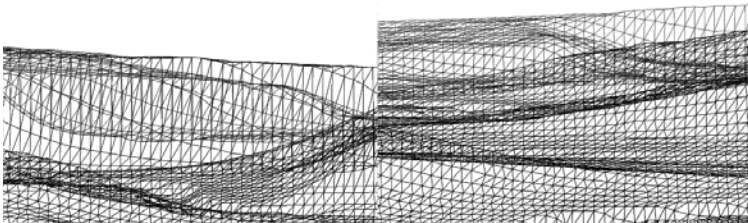


Рис. 3. Ландшафт, увеличение 12,0

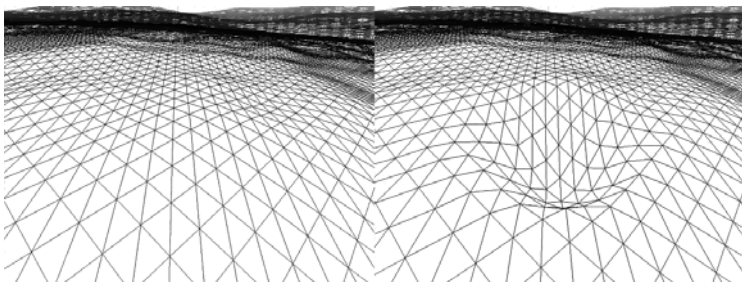


Рис. 4. Деформация ландшафта

- динамическое увеличение детализации при рассмотрении ландшафта в оптические приборы;
- ускорение визуализации при помощи современных видеоускорителей;
- скорость нахождения высоты в заданной точке не зависит от ее координат, размера карты и является постоянной величиной;
- простота и бесконечность модификаций ландшафта;
- плавность ландшафта, отсутствие треугольных и квадратных гор и холмов;
- треугольники в выходной сетке отсортированы от ближних к дальним, что ускоряет их рисование.

В дальнейшем предполагается разработка методов автоматического построения ландшафтов с заданными характеристиками (гористость, изрезанность, эрозия, перепад высот и др.), построение комплексной системы ландшафта, используя характеристики погоды и времени года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бусяк Ю.М., Васильченко О.Г. Построение структур данных обмена информацией между подсистемами тренажеров транспортных средств // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск: Автоматика и приборостроение. – Х.: НТУ «ХПИ». – 2002. – № 9, т. 7. – С. 35 – 42.
2. Macedonia M. Soldiers War Play // IEEE Spectrum. – March 2002. – P. 32 – 37.
3. Fisher E., Günter W. Simulatorgestützte Ausbildung im Heer // Soldat und Technik. – 1985. – № 3. – P. 124 – 127.
4. Jonathan Cohe, Amitabh Varshney, Dinesh Manocha, Greg Turk, Hans Weber, Pankaj Agarwal, Frederick Brooks, and William Wright // Simplification envelopes. – SIGGRAPH' 96 Proc. – August 1996. – P. 128 – 199.
5. Peter Lindstrom, David Koller, William Ribarsky, Larry E Hodges, Nick Faust, and Gregory A. Turner. Real-time, continuous level of detail rendering of height fields // SIGGRAPH' 96 Proc. – August 1996. – P. 109 – 118.
6. Paul S. Heckbert and Michael Garland. Multiresolution modeling for fast rendering // Proc. Graphics Interface '94. – Banff, Canada, May 1994. Canadian Inf. Proc. Soc. – P. 43 – 50.

Поступила 13.01.2003

КАЧАНОВ Петр Алексеевич, доктор техн. наук, доцент, зав. каф. «Автоматика и управление в технических системах» Национального технического университета «ХПИ».

ЗУЕВ Андрей Александрович, аспирант кафедры «Автоматика и управление в технических системах» Национального технического университета «ХПИ».

ВАСИЛЬЧЕНКОВ Олег Георгиевич, старший преподаватель кафедры «Автоматика и управление в технических системах» Национального технического университета «ХПИ».