



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.942.2

## МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ КАРТ ВЫСОТ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТАВЛЯТЕЛЬНОЙ СЕТИ

**Любченко Э.М.**

*ФГБОУ ВО "УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Ульяновск, Россия, (432017, Ульяновская область, город Ульяновск, ул. Льва Толстого, д. 42), e-mail: nighop@yandex.ru*

Географическая информация представляется в виде двухмерных карт местности. Для получения сведений о рельефе местности к двухмерной карте прилагается шкала высот и глубин. Она приводится в виде цветовой диаграммы с обозначением отметок относительно уровня моря. В статье представлен подход, позволяющий извлекать информацию о рельефе и высотах в условиях, когда шкала высот у карты отсутствует. Указанный подход позволяет генерировать карты высот на основе генеративно-сопоставительной сети. Сеть состоит из двух разных противопоставленных сетей - генерирующей сети, которая берёт входные данные и максимально изменяет их для получения новых данных, и дискриминирующей сети, которая пытается предсказать, являются ли выходные данные, полученные от генерирующей сети, оригинальными.

Ключевые слова: Географическая карта; карты высот; генеративно-сопоставительные сети.

## METHOD OF GENERATING HEIGHTMAPS BASED ON GENERATIVE ADVERSARIAL NETWORK

**Lyubchenko E.M.**

*ULYANOVSK STATE UNIVERSITY, Ulyanovsk, Russia, (432017, Ulyanovsk region, Ulyanovsk city, Lva Tolstoy str., 42), e-mail: nighop@yandex.ru*

Most of the time topological data is previewed as a two dimensional map. To describe specific height maps include a scale that represents each height with specific color value.

This article provides an approach that allows to extract topological and height information in cases where heightmap is missing. This approach allows to generate height maps based on conditional generative adversarial network (cGAN), which consist of two different networks - generator network, that generates a new data by taking an input and modifying it, and discriminator network, that determines whether the generated data is fake or real.

Keywords: Maps; height maps; conditional generative adversarial network (cGAN).

### Введение

Географические карты являются обобщенным изображением поверхности местности. Для изображения информации о рельефе местности используется цветовое кодирование регионов карты, где каждому цвету соответствует конкретная величина высоты над уровнем моря. В случае, когда используется цветовое кодирование, к карте прилагается шкала высот, которая сопоставляет высоту (или глубину) с цветом на карте.

Однако, возможны случаи, когда шкала высот отсутствует или её невозможно корректно обработать средствами компьютерного зрения. В статье предложен способ, который на основе генеративно-сопоставительной сети позволяет построить карту высот [1] на основе оригинальной географической карты.

### Карты высот

Вместо шкалы высот и кодировки высот на карте при помощи цветов могут использоваться карты высот. Карты высот - это изображение местности, представленное двумерным массивом, где каждый его элемент содержит информацию о высоте каждой точки местности [1, 2]. Пример карты высот и соответствующая ей карта местности представлена на Рисунке 1.

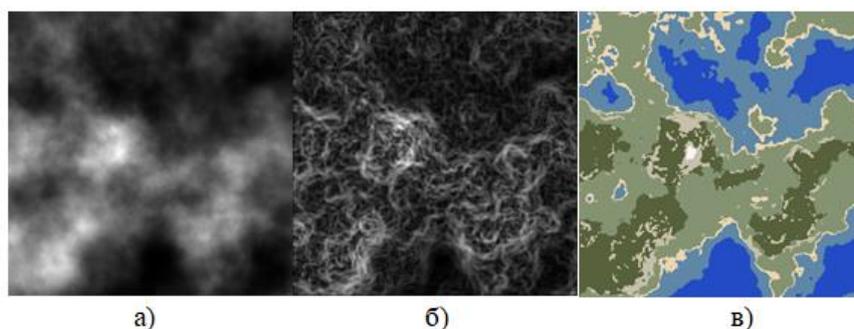


Рисунок 1. - Карта высот и соответствующие ей карта склонов и цветная карта местности. а) Карта высот. б) Карта склонов. в) Карта местности.

Карту высот можно представить как матрицу (1), а карта склонов необходима для того, чтобы отобразить наклон и спуск/подъем рельефа при помощи градиентов (Рисунок 1б) или чисел (2).

$$HMap = \begin{pmatrix} H_{1,1} & \dots & H_{N,1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{1,M} & \dots & H_{N,M} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Карта склонов представляется матрицей, у которой каждый элемент получен на основе матрицы высот и каждый элемент является средним арифметическим значений высот для соседних элементов матрицы.

$$SMap = \begin{pmatrix} \frac{|3 * HMap_{1,1} - HMap_{1,2} - HMap_{2,1} - HMap_{2,2}|}{3} & \dots & \dots \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{|3 * HMap_{1,M} - HMap_{1,M-1} - HMap_{2,M-1} - HMap_{2,M}|}{3} & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad (2)$$

Двухмерная цветная карта местности может быть получена функцией преобразования числовой величины карты высот и склонов в соответствующий данной величине цвет. Данная функция получает на вход два параметра – высоту (h) и величину склона (s) в конкретной точке карты (элементе матрицы) и возвращает соответствующее значение в цветовой схеме RGB [3], которое является вектором из трех элементов, где каждый из элементов соответствует значению цвета в определенном канале RGB. Пример данной функции представлен в формуле (3).

$$color(h, s) = \begin{cases} (200, 192, 170), & 0.2 < h < 0.9 \text{ and } s > 0.45 \\ (35, 75, 195), & h \leq 0.1 \\ (94, 145, 168), & 0.2 < h \leq 0.225 \\ (238, 214, 175), & 0.225 < h \leq 0.45 \\ (132, 147, 114), & 0.45 < h \leq 0.85 \\ \dots & \dots \end{cases} \quad (3)$$

### Генеративно-состязательные сети

В качестве инструмента для преобразования двухмерной карты в карту высот предлагается использовать модель генеративно-состязательной сети [4, 5].

Генеративно-состязательная сеть это модель, которая в данном случае обучается преобразованию изображения  $x$  с вектором шума  $z$  в  $y$ , где  $y$  – фотореалистическое изображение, близкое к реальному (4). Генератор  $G$  обучается созданию изображений, которые дискриминатор  $D$  не может отличить от «реальных». Дискриминатор  $D$  в данном случае обучается как можно лучше выявлять все изображения далекие от реальных, которые сгенерировал генератор  $G$ . [1]

$$G: f(x, z) \rightarrow y \quad (4)$$

Пусть математическое ожидание –  $E$ , Тогда задачу, поставленную перед генеративно-состязательной сетью можно представить в виде (5).

$$GAN(G, D) = E_{x,y}[\log D(x, y)] + E_{x,z}[\log (1 - D(x, G(x, z)))] \quad (5)$$

В (5) основная задача генератора  $G$  – попытаться как можно сильнее снизить влияние дискриминатора  $D$ .

Конкретно для решения задачи преобразования изображения в другое изображение (двухмерную карту в карту высот) предлагается использовать подвид генеративно-состязательных сетей – pix2pix [6]. Данная модель специально спроектирована для сопоставления входных изображений с выходными.

Генератор, используемый в pix2pix [6] является модификацией U-Net [7], который состоит из кодера и декодера. Структура слоев генератора представлена в Таблице 1.

Таблица 1. - Список слоев генеративной сети

Тип слоя	Размер ядра слоя	Параметры слоя, (H, W, C)
InputLayer		(256, 256, 3)
Sequential	4 * 4	(128, 128, 64)
Sequential	4 * 4	(64, 64, 128)
Sequential	4 * 4	(32, 32, 256)
Sequential	4 * 4	(16, 16, 512)
Sequential	4 * 4	(8, 8, 512)
Sequential	4 * 4	(4, 4, 512)
Sequential	4 * 4	(2, 2, 512)
Sequential	4 * 4	(1, 1, 512)

Тип слоя	Размер ядра слоя	Параметры слоя, (H, W, C)
Sequential	4 * 4	(2, 2, 512)
Concatenate	4 * 4	(2, 2, 1024)
Sequential	4 * 4	(4, 4, 512)
Concatenate	4 * 4	(4, 4, 1024)
Sequential	4 * 4	(8, 8, 512)
Concatenate	4 * 4	(8, 8, 1024)
Sequential	4 * 4	(16, 16, 512)
Concatenate	4 * 4	(16, 16, 1024)
Sequential	4 * 4	(32, 32, 256)
Concatenate	4 * 4	(32, 32, 512)
Sequential	4 * 4	(64, 64, 128)
Concatenate	4 * 4	(64, 64, 256)
Sequential	4 * 4	(128, 128, 64)
Concatenate	4 * 4	(128, 128, 128)
Conv2DTranspose	4 * 4	(256, 256, 3)

Дискриминатор D является классификатором PatchGAN (Markovian discriminator) [8] – он пытается выяснить, является ли каждый фрагмент изображения реальным или нет. Дискриминатор получает на вход 2 изображения – входное изображение, которое является реальным и сгенерированное изображение, полученное на выходе генератора G, которое дискриминатор D должен классифицировать как подделку.

Структура слоев дискриминатора D представлена в Таблице 2.

Таблица 2. - Список слоев дискриминирующей сети

Тип слоя	Размер ядра слоя	Параметры слоя, (H, W, C)
InputLayer		(256, 256, 3)
Concatenate	4 * 4	(256, 256, 6)
Sequential	4 * 4	(128, 128, 64)
Sequential	4 * 4	(64, 64, 128)
Sequential	4 * 4	(32, 32, 256)
ZeroPadding2D	4 * 4	(34, 34, 256)
Conv2D	4 * 4	(31, 31, 512)
BatchNormalization	4 * 4	(31, 31, 512)
LeakyReLU	4 * 4	(31, 31, 512)
ZeroPadding2D	4 * 4	(33, 33, 512)
Conv2D	4 * 4	(30, 30, 1)

Общий вид данной сети представлен на Рисунке 2.

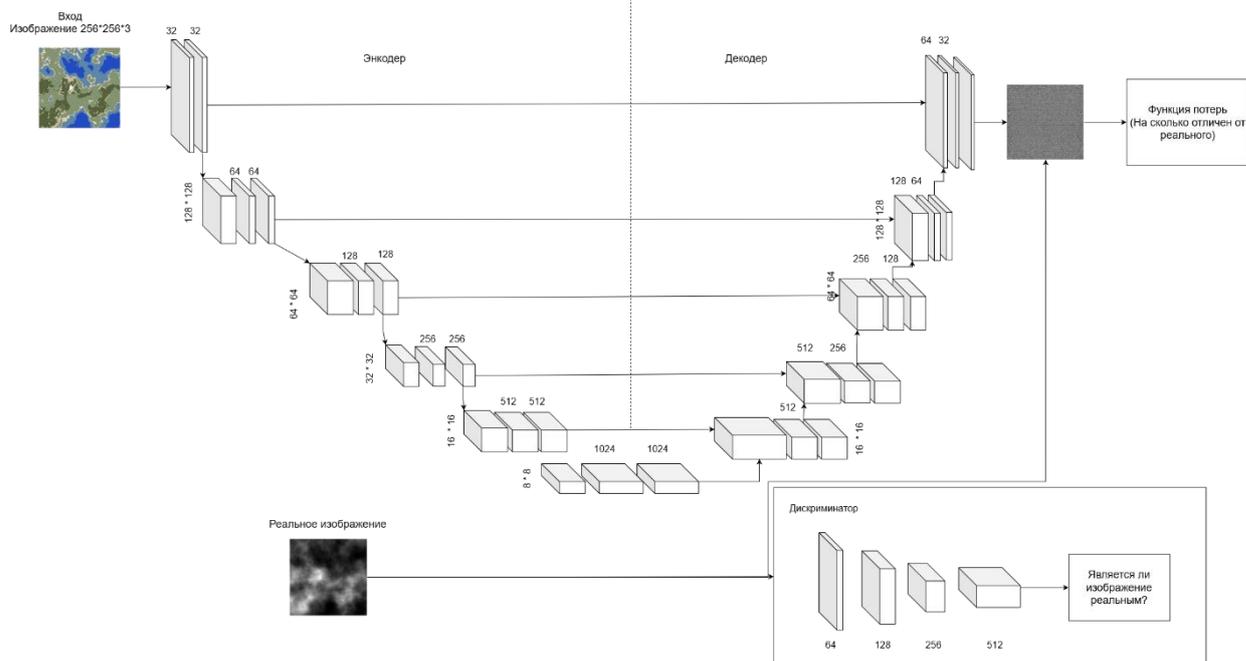


Рисунок 2. - Общая схема построенной сети.

### Подготовка данных для обучения сети

В качестве набора данных для сети был выбран метод по генерации набора карт с одинаковой шкалой высот на основе симплексного шума [9], таким образом можно сгенерировать неограниченное количество карт местности и соответствующих им карт высот.

Метод получает на вход оригинальную цветную двухмерную карту местности. Затем необходимо извлечь информацию о шкале высот, которая соответствует карте местности. Для решения данной задачи предлагается использовать метод k-средних [10], который позволяет извлечь весь набор цветов, представленный на карте.

После того как была получена информация о карте высот можно переходить к созданию набора данных. При помощи функции симплексного шума можно создать набор карты высот.

Пусть  $snoise$  - это функция генерации симплексного шума, тогда карту высот с шириной  $N$  и высотой  $M$  по формуле (1) можно представить как матрицу (6).

$$HMap_{snoise} = \begin{pmatrix} snoise_{1,1} & \dots & snoise_{N,1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ snoise_{1,M} & \dots & snoise_{N,M} \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$SMap_{snoise} = \begin{pmatrix} \frac{|3 * HMap_{snoise_{1,1}} - HMap_{snoise_{1,2}} - \dots|}{3} & \dots & \dots \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{|3 * HMap_{snoise_{1,M}} - HMap_{snoise_{1,M-1}} - \dots|}{3} & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$Map_{snoise} = \begin{pmatrix} color(HMap_{snoise_{1,1}}, SMap_{snoise_{1,1}}) & \dots & \dots \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ color(HMap_{snoise_{1,M}}, SMap_{snoise_{N,M}}) & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad (8)$$

На основе полученной карты высот по формуле (2) необходимо построить карту склонов (7) и сгенерировать карту местности используя заранее выбранную формулу (3). Полученная карта местности (8) и карта высот (6) – являются входными данными для генеративно-состязательной сети, где (8) – это данные для генератора, а (6) – реальное изображение (эталон) для проведения сравнения с результатом работы генератора.

### Результат работы

Сгенерированный набор данных это множество изображений, где каждое изображение имеет размер 256 x 512 пикселей, и является склейкой двух изображений (обычной карты местности и соответствующей ей картой высот) размером 256 x 256.

Как описано в [4] для составления тестового набора необходимо провести последующую постобработку изображений. Постобработка состоит из следующих шагов:

1. Провести изменение размера изображения 256 x 256 на большую высоту и ширину – 286 x 286.
2. Произвольно обрезать изображение обратно до 256 x 256.
3. Провести произвольное зеркальное отражение изображения (слева направо).

По ходу обучения сети была сгенерирована модель с результатами, представленными на Рисунке 3.

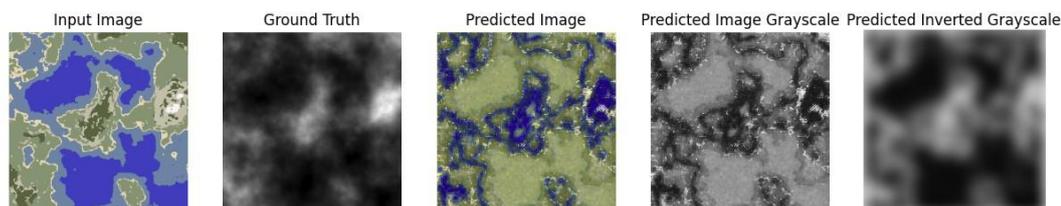


Рисунок 3. - Процесс преобразования генеративно-состязательной сетью карты местности в карту высот.

### Заключение

Представленный в статье метод позволяет для заданной карты местности сгенерировать соответствующую ей карту высот. Данную карту высот в последующем можно использовать для проектирования трехмерной модели местности.

Модель, полученная в результате обучения сети, всё ещё содержит несколько недочетов – после преобразования в карту высот её необходимо привести в черно-белый вид и нормировать цвета по самому светлому и темному оттенку. Также необходимо дополнить существующий набор данных фотореалистичными изображениями карт с разными картами высот и наборами цветов у шкалы высот, что сделает модель более точной в предсказании карт высот и позволит использовать с ней больший набор карт местности.

### Список литературы

1. Ивсон, Пауло и Толедо, Родриго и Гаттасс, Марсело. (2008). Наборы сплошных карт высот: моделирование и визуализация. 359-365. 10.1145/1364901.1364953.

2. Алонсо, Хесус Алонсо и Роберт Жоан-Ариньо. “Обоснованное дерево карт высот - новая структура данных для представления рельефа”. Международная конференция по теории и приложениям компьютерной графики (2008).
3. Желязко, А. "Цветовая модель RGB". Британская энциклопедия, 19 июля 2024 г. URL: <https://www.britannica.com/science/RGB-colour-model>.
4. Аланкрита Аггарвал, Мамта Миттал, Гопи Баттинени, Генеративная состязательная сеть: обзор теории и приложений, Международный журнал управления информацией Data Insights, Том 1, выпуск 1, 2021, 100004, ISSN 2667-0968.
5. Гудфеллоу И.-Дж., Пуже-Абади Дж. и Мирза М., э.э. Порождающие состязательные сети, 2014. URL: <https://arxiv.org/abs/1406.2661>
6. Изола П. Преобразование изображения в изображение с помощью условных состязательных сетей, Джун И.-З., Чжоу Т., Алексей Е. // CoRR // DOI: [abs/1611.07004](https://arxiv.org/abs/1611.07004). URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1611.07004>
7. Роннебергер О., Фишер П., Брокс Т. (2015). U-Net: Сверточные сети для сегментации биомедицинских изображений. В книге: Наваб, Н., Хорнеггер, Дж., Уэллс, У., Франджи, А. (ред.) Обработка медицинских изображений и компьютерное вмешательство - MICCAI, 2015. MICCAI, 2015. Конспекты лекций по информатике (), том 9351. Спрингер, Чам. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28)
8. Демир, Угур и Гезде Б. Юнал. “Создание изображений на основе исправлений с помощью генеративных состязательных сетей”. arXiv [abs/1803.07422](https://arxiv.org/abs/1803.07422) (2018).
9. Густавсон Стефан. Симплексный шум раскрыт. Линчепингский университет, Швеция. (2005). URL: [https://www.researchgate.net/publication/216813608\\_Simplex\\_noise\\_demystified](https://www.researchgate.net/publication/216813608_Simplex_noise_demystified)
10. Абиодун М. Икотун, Авессалом Э. Эзугву, Лейт Абуалига, Белал Абухайя, Цзя Хеминг, Алгоритмы кластеризации с помощью K-средних: всесторонний обзор, анализ вариантов и достижения в эпоху больших данных, Информационные науки, том 622, 2023, С 178-210, ISSN 0020-0255. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020025522014633>

## References

1. Ivson, Paulo & Toledo, Rodrigo & Gattass, Marcelo. (2008). Solid height-map sets: modeling and visualization. 359-365. 10.1145/1364901.1364953.
2. Alonso, Jesus Alonso and Robert Joan-Arinyo. “The Grounded Heightmap Tree - A New Data Structure for Terrain Representation.” International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (2008).
3. Zelazko, A.. "RGB colour model." Encyclopedia Britannica, July 19, 2024. URL: <https://www.britannica.com/science/RGB-colour-model>.
4. Alankrita Aggarwal, Mamta Mittal, Gopi Battineni, Generative adversarial network: An overview of theory and applications, International Journal of Information Management Data Insights, Volume 1, Issue 1, 2021, 100004, ISSN 2667-0968.
5. Goodfellow I-J, Pouget-Abadie J. and Mirza M. e.c. Generative Adversarial Networks, 2014. URL: <https://arxiv.org/abs/1406.2661>

6. Isola, P. Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks, Jun Y-Z., Zhou T., Alexei E. // CoRR // DOI: abs/1611.07004. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1611.07004>
  7. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In: Navab, N., Hornegger, J., Wells, W., Frangi, A. (eds) Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science(), vol 9351. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28)
  8. Demir, Ugur and Gözde B. Ünal. “Patch-Based Image Inpainting with Generative Adversarial Networks.” ArXiv abs/1803.07422 (2018).
  9. Gustavson, Stefan. Simplex noise demystified. Linköping University, Swede. (2005). URL: [https://www.researchgate.net/publication/216813608\\_Simplex\\_noise\\_demystified](https://www.researchgate.net/publication/216813608_Simplex_noise_demystified)
  10. Abiodun M. Ikotun, Absalom E. Ezugwu, Laith Abualigah, Belal Abuhaija, Jia Heming, K-means clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data, Information Sciences, Volume 622, 2023, Pages 178-210, ISSN 0020-0255. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020025522014633>
-