

Generovanie terénu a miest

Prečo vytvárať terén?

- Filmový priemysel – (napr. neexistujúce krajiny či ťažko prístupné pre nakrúcanie)
- Geografické informačné systémy
- Počítačové hry, virtuálna realita
- Fyzikálne simulácie – (záplavy, erózia, zemetrasenie, atď.), geológia
- Letecké simulátory
- Modely terénu pre ďalšie použitie
 - Vojsko
 - Regionálne plánovanie

Metódy pre generovanie terénu

- Založené na fraktáloch:
 - rýchle, nevyžadujú vstupné dáta
 - používajú geometrické či procedurálne postupy
 - nedostatočne realistické
- Založené na fraktáloch a fyzikálnych postupoch:
 - využívajú simuláciu vodnej a tepelnej erózie
 - využívajú predvypočítanú sieť vodných tokov
 - realistické

Metódy pre generovanie terénu

- Založené len na fyzikálnych postupoch:
 - môžu byť veľmi komplexné
 - využívajú simuláciu vodnej a tepelnej erózie napr. pomocou vektorových polí
 - nie sú interaktívne
 - sú realistické
- Deformačné
 - využívajú 2D konvolúciu na deformovanie existujúceho povrchu
- Vytvárané umelcami
 - využívajú metódu pokus/omyl

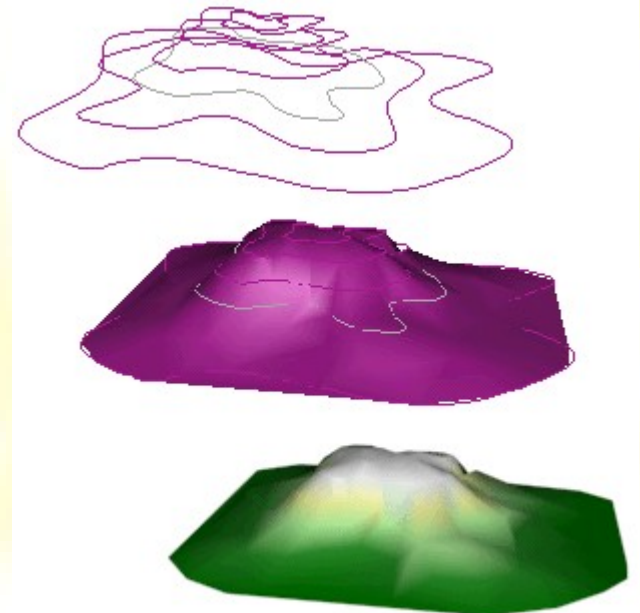
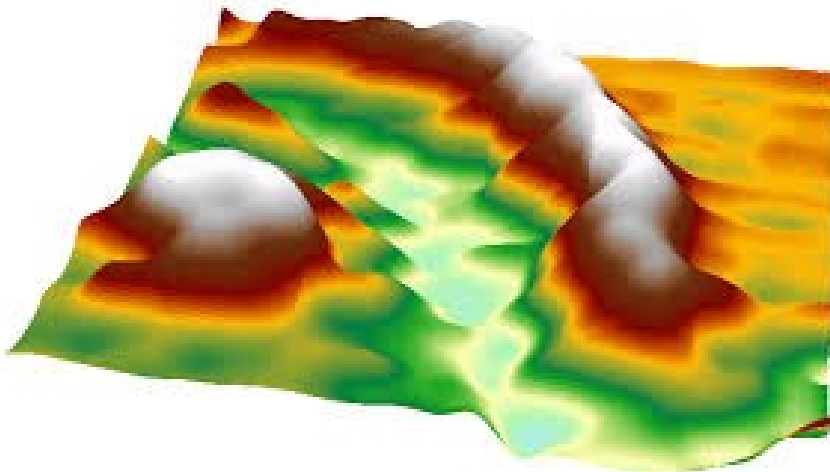
Metódy pre generovanie terénu

- Pomocou explicitných, parametrických funkcií a splajnov v 3D
- Pomocou výškových máp s následným použitím interpolácie či vyhladenia
 - dopredu dané (napr. získané GPS súradnice)
 - vytvorené náhodne (šumy, turbulencie, ...)
- Pomocou rôznych fraktálnych algoritmov
 - metóda presúvania stredného bodu
 - metóda diamant-štvorec
 - Fourierova syntéza
 - Brownov pohyb a multifraktály

Využitie funkcií a splajnov

- Modelovanie plôch pomocou explicitných funkcií:
$$f(x,y) = \exp\left(\frac{4}{b-a} - \frac{1}{x-a} - \frac{1}{b-x}\right) \cdot \exp\left(\frac{4}{d-c} - \frac{1}{y-c} - \frac{1}{d-y}\right)$$

na intervale $\langle a, b \rangle \times \langle c, d \rangle$
- Modelovanie pomocou splajnov
- Plochy vytvorené geometrickou transformáciou – rotačné, translačné, ...



Využitie funkcií a splajnov

- Štvorcová sieť (pravidelná, nepravidelná):
 - interpolačné splajny (kardinálne, kubický splajn, ...)
 - aproximačné splajny (B-splajn, Bézierova záplata, ...)
- Nepravidelná sieť bodov:

Globálne funkcie:

- metódy radiálnych bázických funkcií (tenkostenný splajn, Hardyho multikvadriky, ...)
- metóda najmenších štvorcov

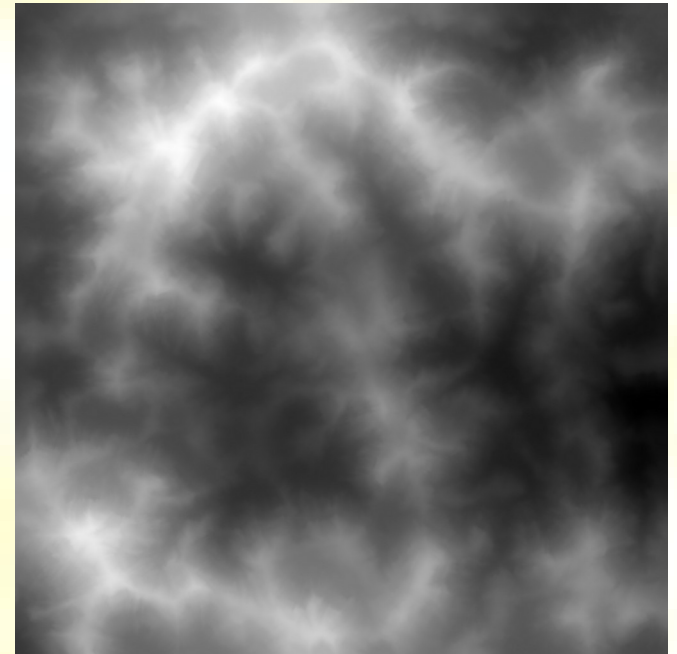
Lokálne funkcie:

- Powel-Sabin, Clough-Tocher (delenie trojuholníkovej siete)
- Sibsonovova interpolácia (Natural neighbour)

Kriging (geoštatistika, interpolované hodnoty sú modelované gaussovským procesom podľa apriórnych kovariancií)

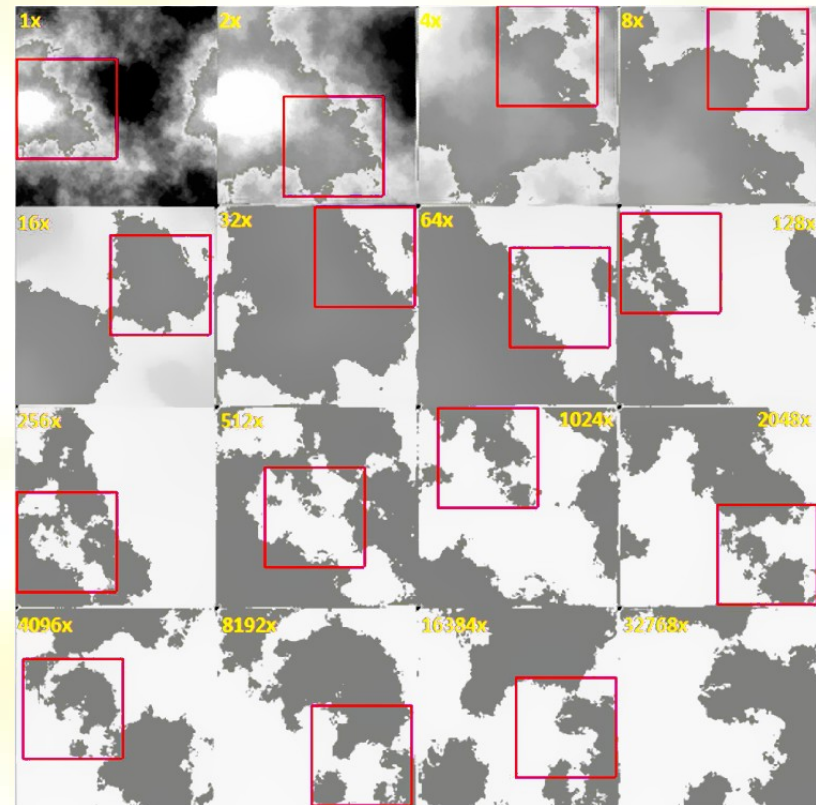
Využitie výškových máp

- Výškové mapy získané meraním (fotogrametria, laserové skenovanie, ...) dostupné napr. z USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- Výškové mapy – textúry – vytvorené technikami procedurálneho modelovania:
 - šumy a turbulencie
 - Fourierova syntéza
 - aplikovanie obrazových filtrov pre simuláciu erózie (vyhladzovanie, ...)
 - použitie celulárnych automatov (tok rieky, erózia, ...)
 - procedurálne štetce, ridge particles



Využitie fraktálov a L-systémov

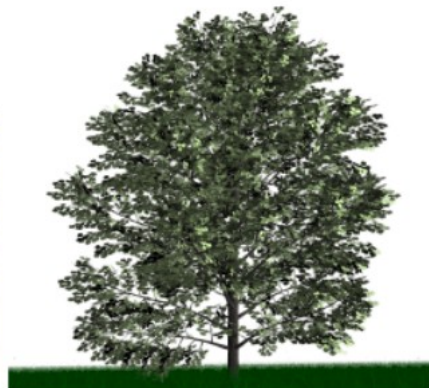
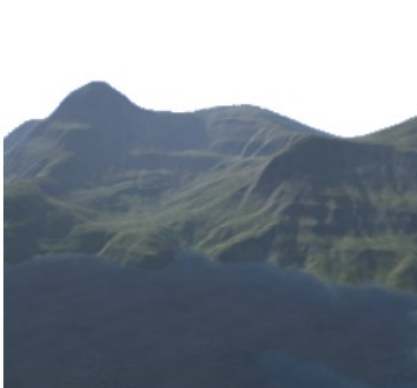
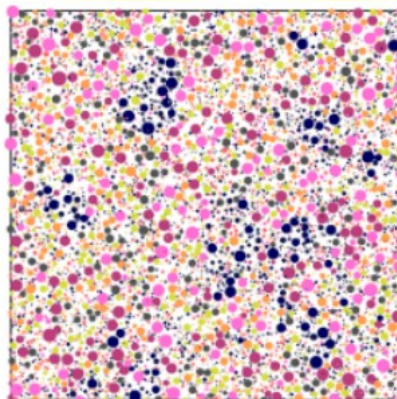
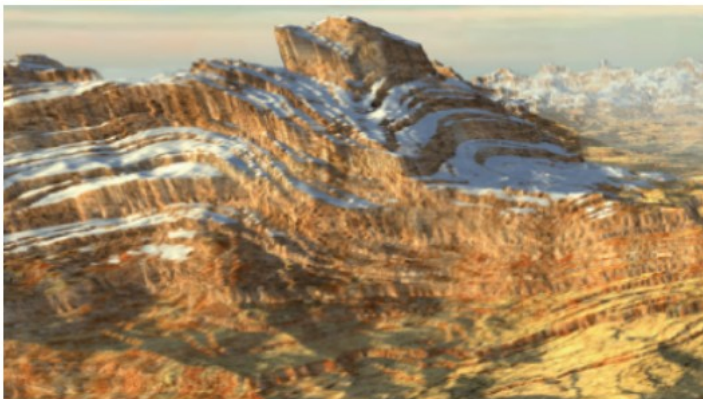
- Terén je vo svojej podstate fraktálny útvar nekonečnej členitosti (Richardson) a samopodobnosti
- Rastliny sú generované L-systémami a časticovými systémami



Generovanie ulíc a miest

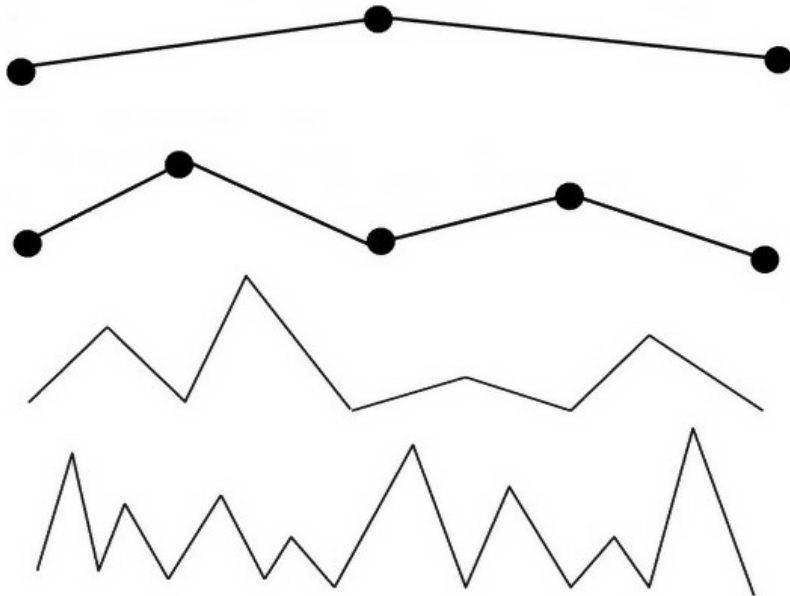
- Generovanie štvorcovej siete s náhodnou výškou (šum) – výška budovy alebo šírka komunikácie a hustota zástavby
- Použitie vzoriek so šablónami – vopred definované typy objektov (napr. typ budovy), ktoré sa aplikujú podľa hodnoty šumu, ktorá určuje vlastnosti prostredia (nadmorská výška, početnosť populácie)
- Voronoiove diagramy na (ne)pravidelnene rozložených bodoch (prirodzené, historicky vzniknuté mestá). Hrany buniek sú ulice, stredy buniek sú budovy alebo bloky
- Parametrické a stochastické L-systémy (kostra mesta = hierarchická, vetviaca sa štruktúra ciest a ulíc). Kombinácia s výškovou mapou či šablónami a Voronoiovými diagramami
- Multiagentné modelovanie zdola nahor. Agenti (cestný /najkratšia cesta/, osídľovací, dopravný, investičný) sa pohybujú pomocou jednoduchých pravidiel v prostredí a vzájomne interagujú. Agenti sa pohybujú medzi zaujímavými bodmi (napr. voda, obchodné centrum, kopec) a zanechávajú „feromón“ – stopu (ako mravce). Cesty/budovy sa vytvárajú tam, kde sa pohybuje veľa agentov
- Tenzorové polia (množina 2D vektorov) umožňujú vytvoriť hladký prechod medzi rôznymi typmi urbanizmu (štvorcová sieť – centrum, okolie vodných tokov, kopce – ulice sledujú vrstevnice)

Generovanie ulíc a miest



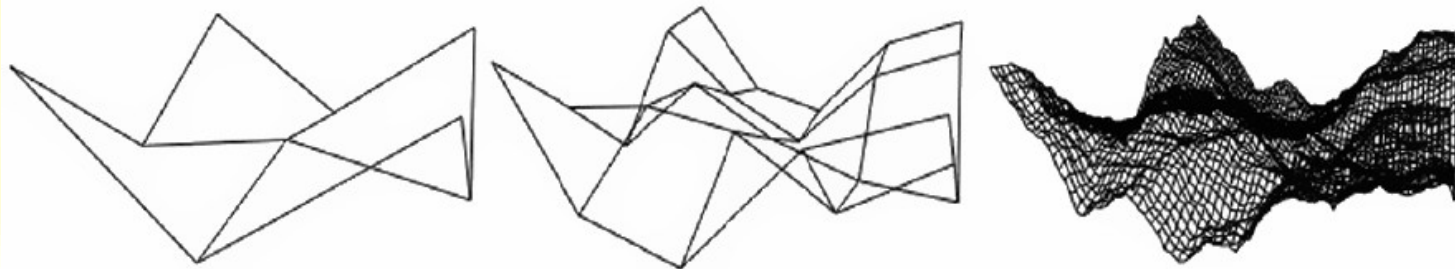
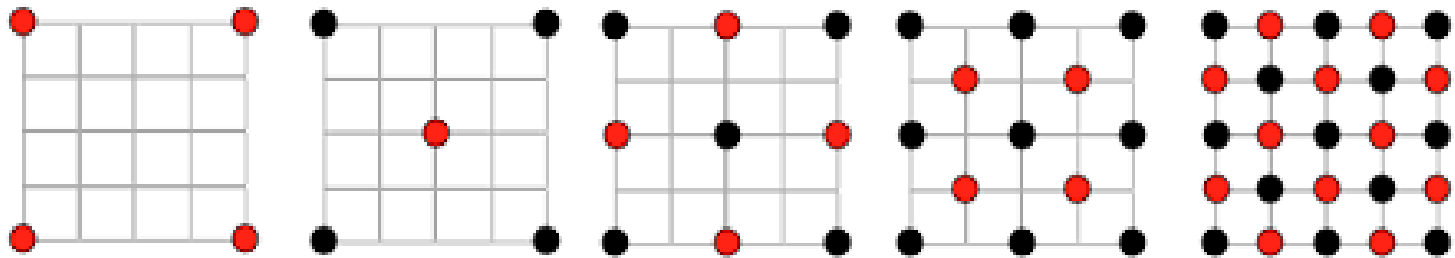
Metóda presúvania stredného bodu

- Relatívne jednoduchá a poskytuje realistické výsledky
- Získame obrys (1D čiaru), ktorá sa môže použiť na modelovanie hôr alebo pobrežia



Metóda diamant-štvorec

- Základným objektom, z ktorého sa generuje nový útvar je štvorec alebo trojuholník
- Pravidlá pre zmenu výšky môžu byť riadené výškovou funkciou. V každej iterácii sa zvyčajne zmenšuje zmena výšky



Fourierova syntéza

- Nepoužíva klasickú iteračnú metódu (metóda posúvania stredného bodu)

- Najskôr sa vygeneruje biely šum a následne sa aplikuje

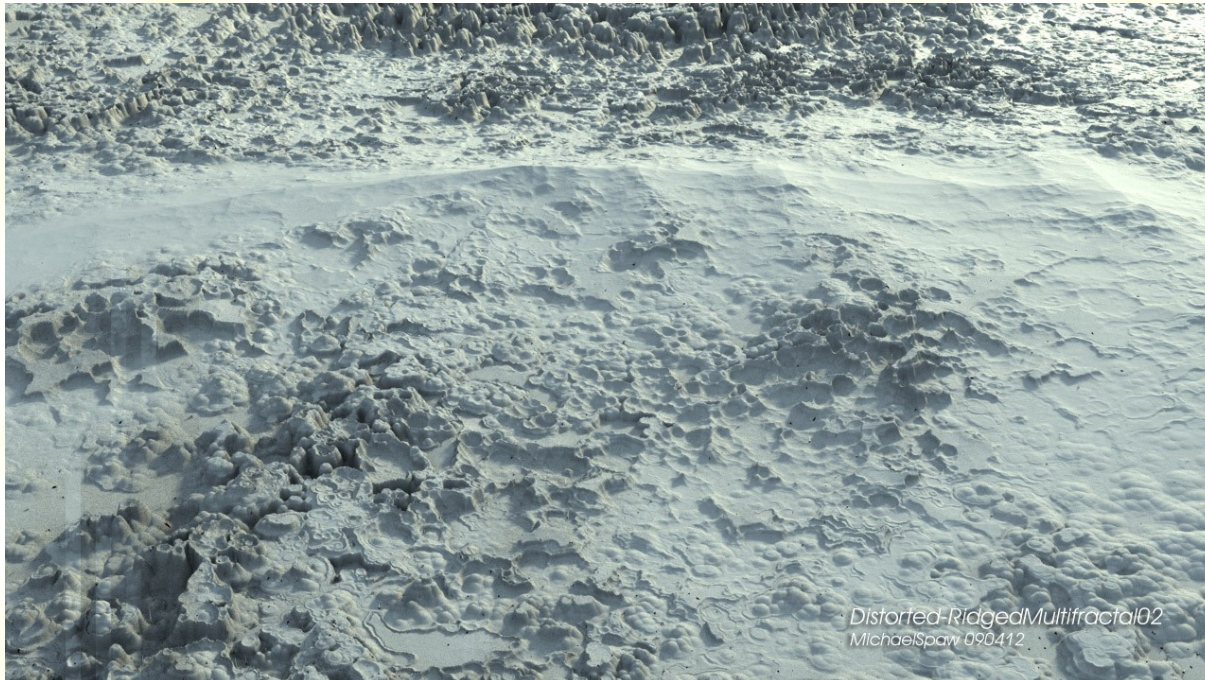
FFT:

$$F(u, v) = \frac{1}{NM} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} f(x, y) e^{-2\pi i \left(\frac{xu}{N} + \frac{yu}{M} \right)}$$

- FFT rozloží obraz na súčet sínusových a kosínusových funkcií, pričom konvertuje hodnoty obrazu (šumu) do frekvenčnej oblasti (frekvencií)
- Pre jednotlivé frekvencie (u, v) sa aplikuje na $F(u, v)$ frekvenčný filter s hodnotou $1/f^r$, $f = \sqrt{u^2 + v^2}$ (kde napr. $r = 2.4$), a nakoniec sa aplikuje inverzná FFT
- Môže sa použiť aj filter s nejakým konkrétnym tvarom (kruh)

Fraktálny Brownov pohyb a multifraktály

- Fraktál má v rôznych merítkach inú zložitosť (iné vlastnosti). To je dané rôznou váhou vplyvov pôsobiacich na vznik fraktálu v rôznych mierkach



Fraktálny Brownov pohyb a multifraktály

- fBm – súčet viacerých oktáv základného šumu. Parametre sú počet oktáv, *lacunarity* (λ), Hurstov koeficient (H) a prípadne *offset*
- Frekvencia bude rásť podľa λ , amplitúda bude klesať podľa $gain = \lambda^{-H}$
frequency = amplitude = 1.0
for i=1 to počet oktáv:
 value += noise(x*frequency, y*frequency) + offset) * amplitude
 frequency *= lacunarity
 amplitude *= gain
- Multifraktály majú premenlivú dimenziu závislú na mierke a/alebo pozícii
- Môže sa použiť multiplikatívna kaskáda, ktorá zvyšuje lokálny kontrast:
$$M(x, y) = \prod_{i=1}^n S_i(x, y),$$
 kde $S_i(x, y)$ sú šumy v rôznych mierkach
- Hetero-terrain – Hybridný prístup u ktorého drsnosť závisí od výšky, doliny sú hladšie, hrebene sú „drsnejšie“
- Hybrid multifractal – Kombinuje additívny aj multiplikatívny prístup
- Ridged multifractal – „Prevráti a zosilní“ šum pre vytvorenie ostrých hrebeňov a roklín

Multifraktály (Musgrave)

- **Multiplicative multifractal:**

frequency = amplitude = 1.0

for i=1 to počet oktáv:

 signal = (noise(x*frequency, y*frequency) + offset) * amplitude

 value *= signal + 1

 frequency *= lacunarity

 amplitude *= gain

- **Hetero-terrain:**

frequency = amplitude = value = 1.0

for i=1 to počet oktáv:

 weight = clamp(value, 0, 1)

 signal = (noise(x*frequency, y*frequency) + offset) * amplitude

 value += signal * weight

 frequency *= lacunarity

 amplitude *= gain

- **Hybrid multifraktal:**

frequency = amplitude = signal = 1.0

for i=1 to počet oktáv:

 weight = clamp(signal*gain)

 signal = (noise(x*frequency, y*frequency) + offset) * amplitude

 value += signal * weight

 frequency *= lacunarity

 amplitude *= gain

- **Ridged multifractal**

frequency = amplitude = base_signal = 1.0

for i=1 to počet oktáv:

 weight = clamp(base_signal, 0, 1)

 base_signal = (-abs(noise(x*frequency, y*frequency)) + offset)^2

 value += base_signal * amplitude * weight

 frequency *= lacunarity

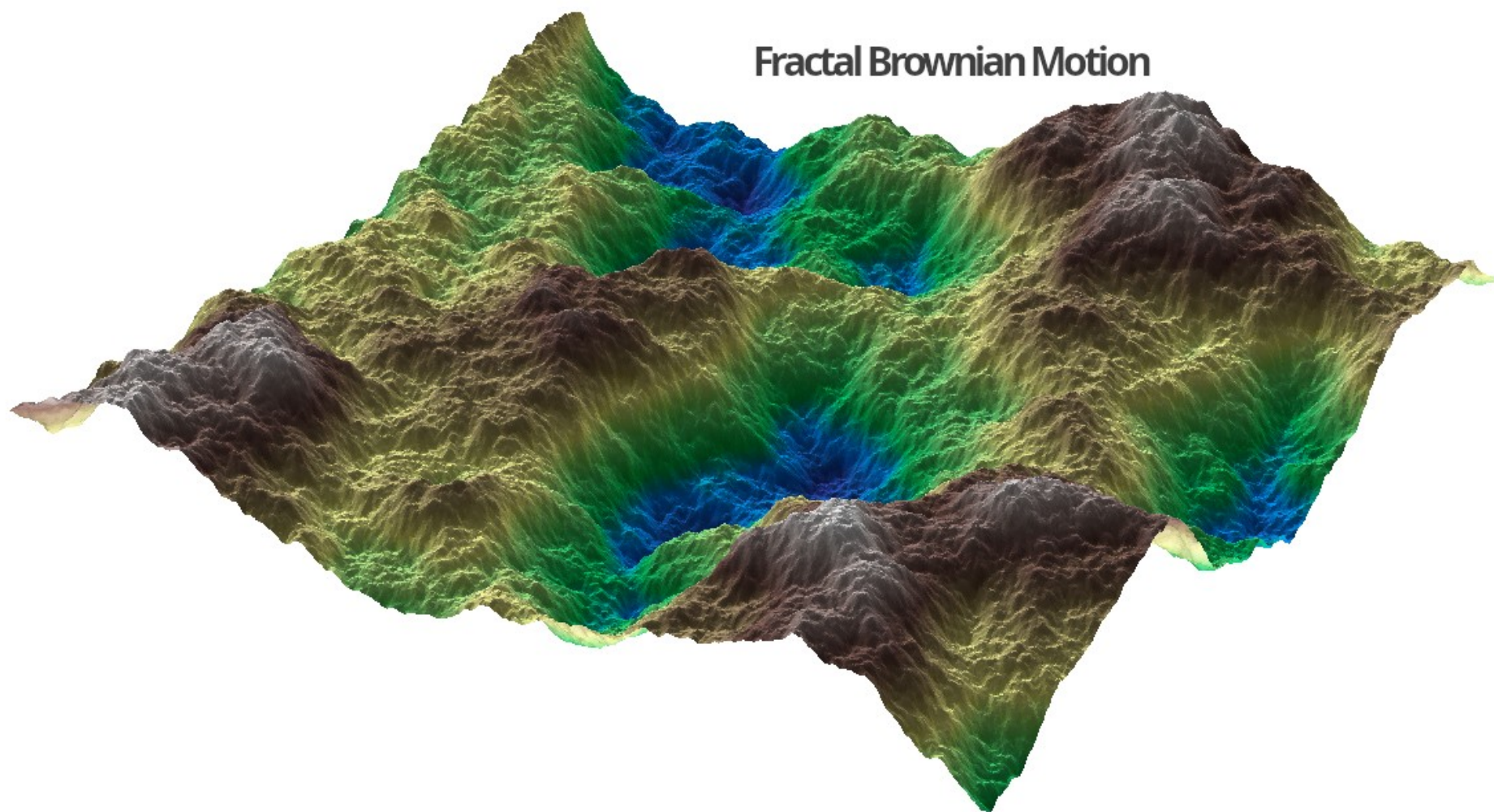
 amplitude *= gain

Multifraktály (Musgrave)

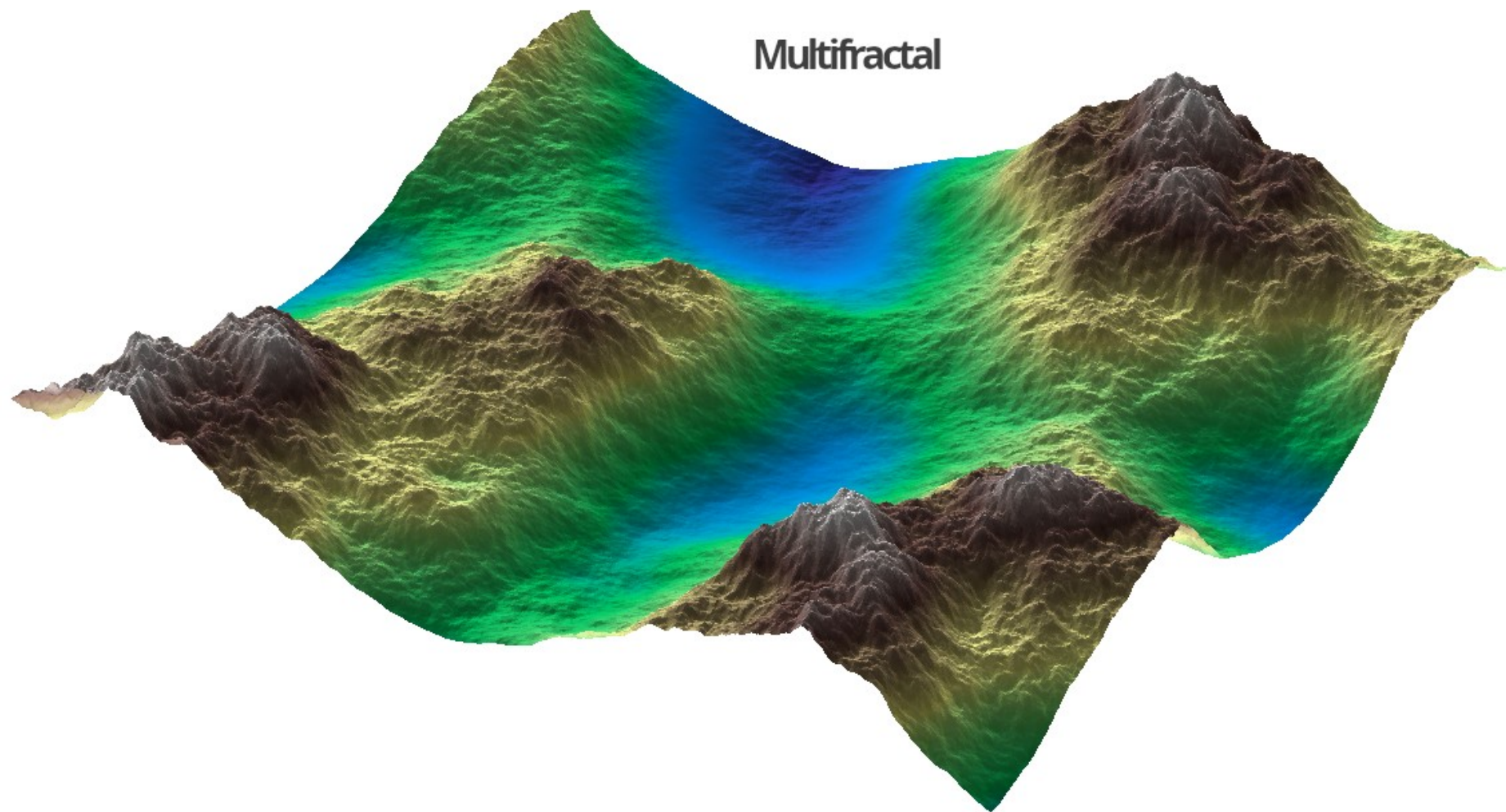
- fBm:
$$\sum_{i=0}^n \frac{\xi_i(p)}{\lambda^{iH}} \quad p=(x,y) \quad \xi_i(p)=noise(p \cdot \lambda^i)+offset$$
- Multifraktal:
$$\prod_{i=0}^n \left(\frac{\xi_i(p)}{\lambda^{iH}} + 1 \right)$$
- Hetero terrain:
$$\sum_{i=0}^n \frac{\xi_i(p)}{\lambda^{iH}} \cdot W_i^{ht}(p) \quad W_i^{ht}(p) = \sum_{j=0}^{i-1} \frac{\xi_j(p)}{\lambda^{jH}} \cdot W_j^{hm}(p)$$
- Hybrid multifractal:
$$\sum_{i=0}^n \frac{\xi_i(p)}{\lambda^{iH}} \cdot W_i^{hm}(p) \quad W_i^{hm}(p) = \frac{\xi_{i-1}(p)}{\lambda^{(i-1)H}} \cdot \frac{1}{\lambda^H}$$
- Ridged multifractal:
$$\sum_{i=0}^n \frac{\mu_i(p)}{\lambda^{iH}} \cdot W_i^{rm}(p) \quad W_i^{rm}(p) = \mu_{i-1}(p)$$

$$W_0^{ht}(p) = W_0^{hm}(p) = W_0^{rm}(p) = 1.0 \quad \mu_i(p) = (-|noise(p \cdot \lambda^i)| + offset)^2$$

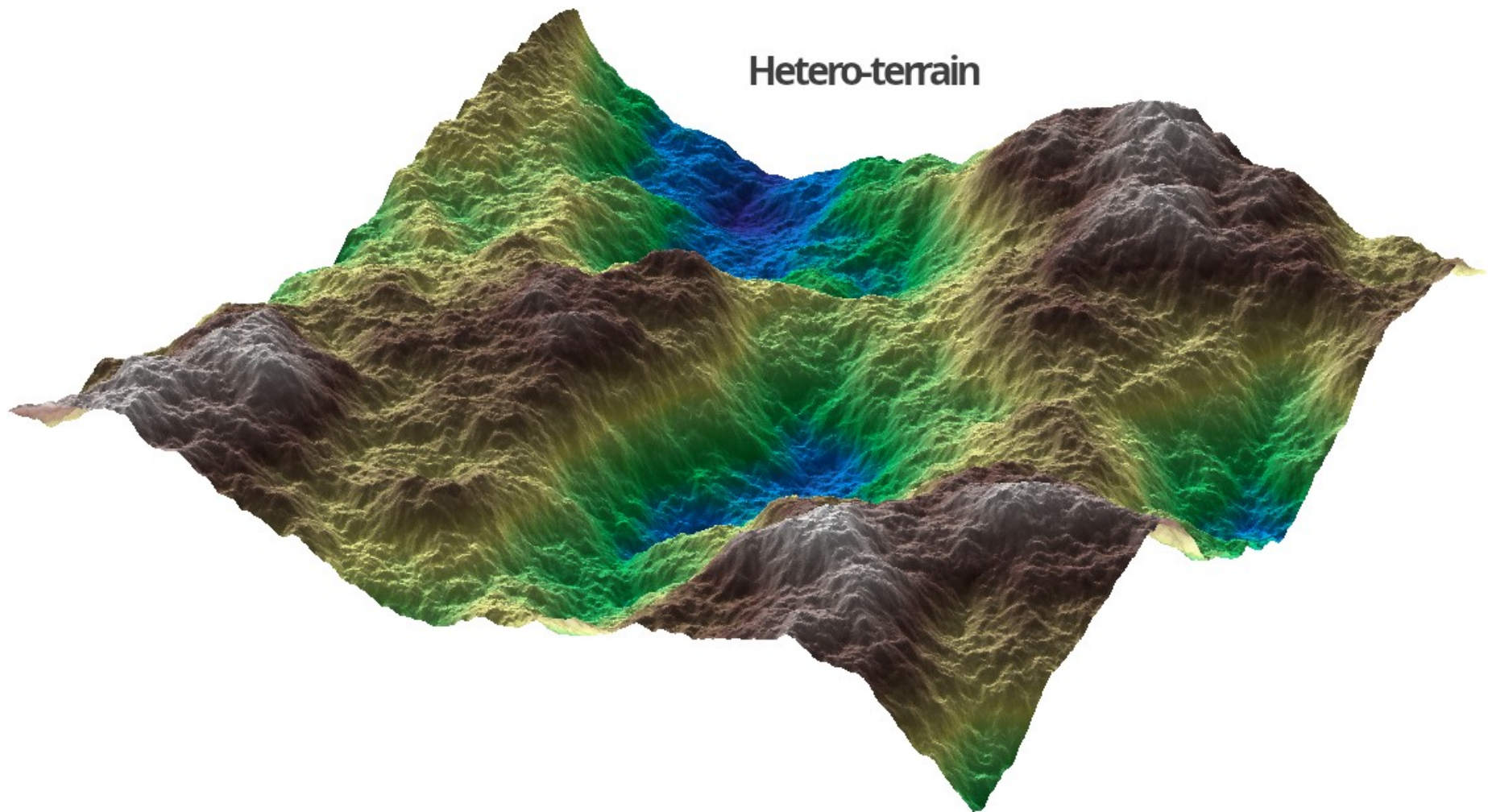
Fraktálny Brownov pohyb



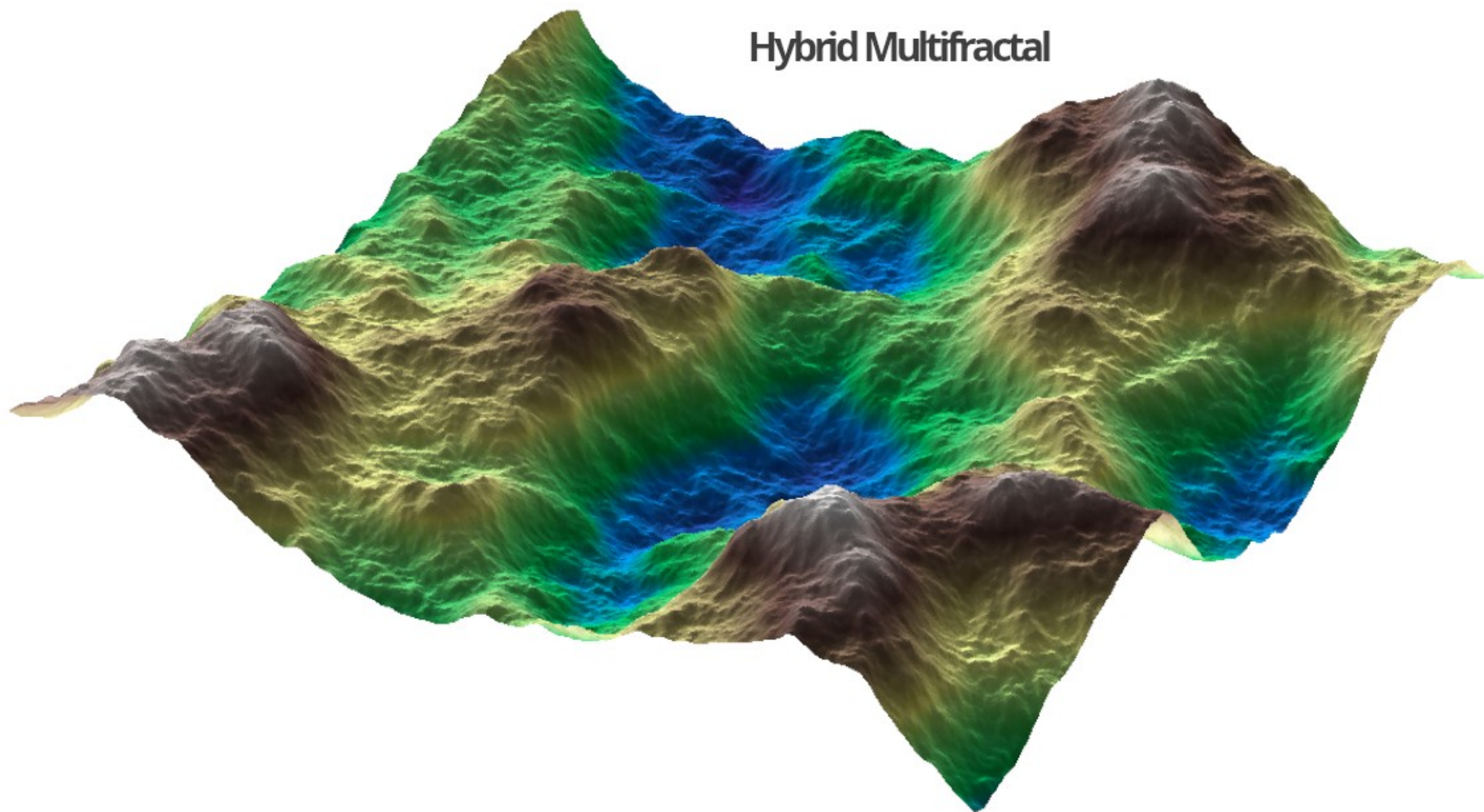
Multifraktál



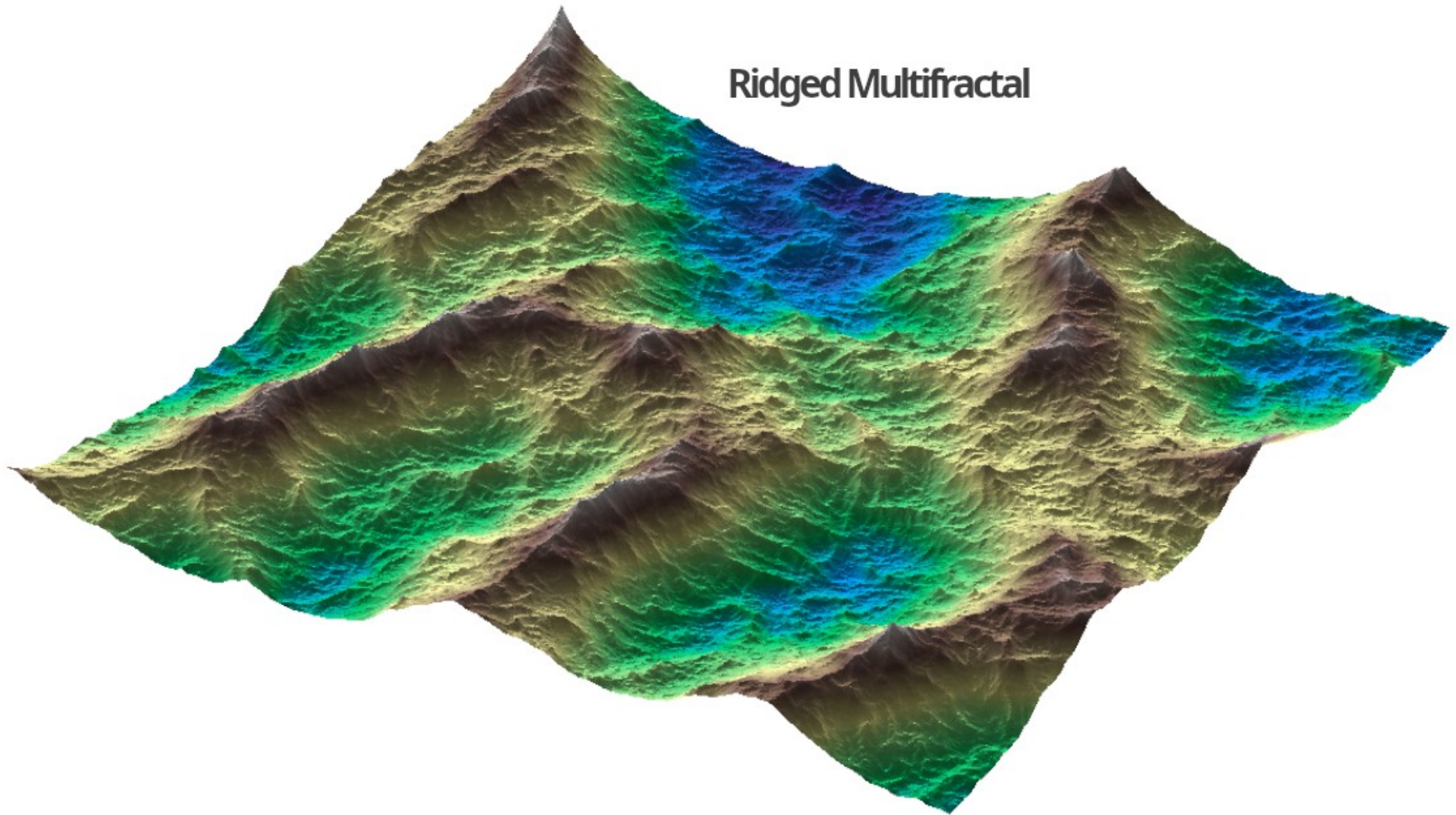
Heterogénny terén



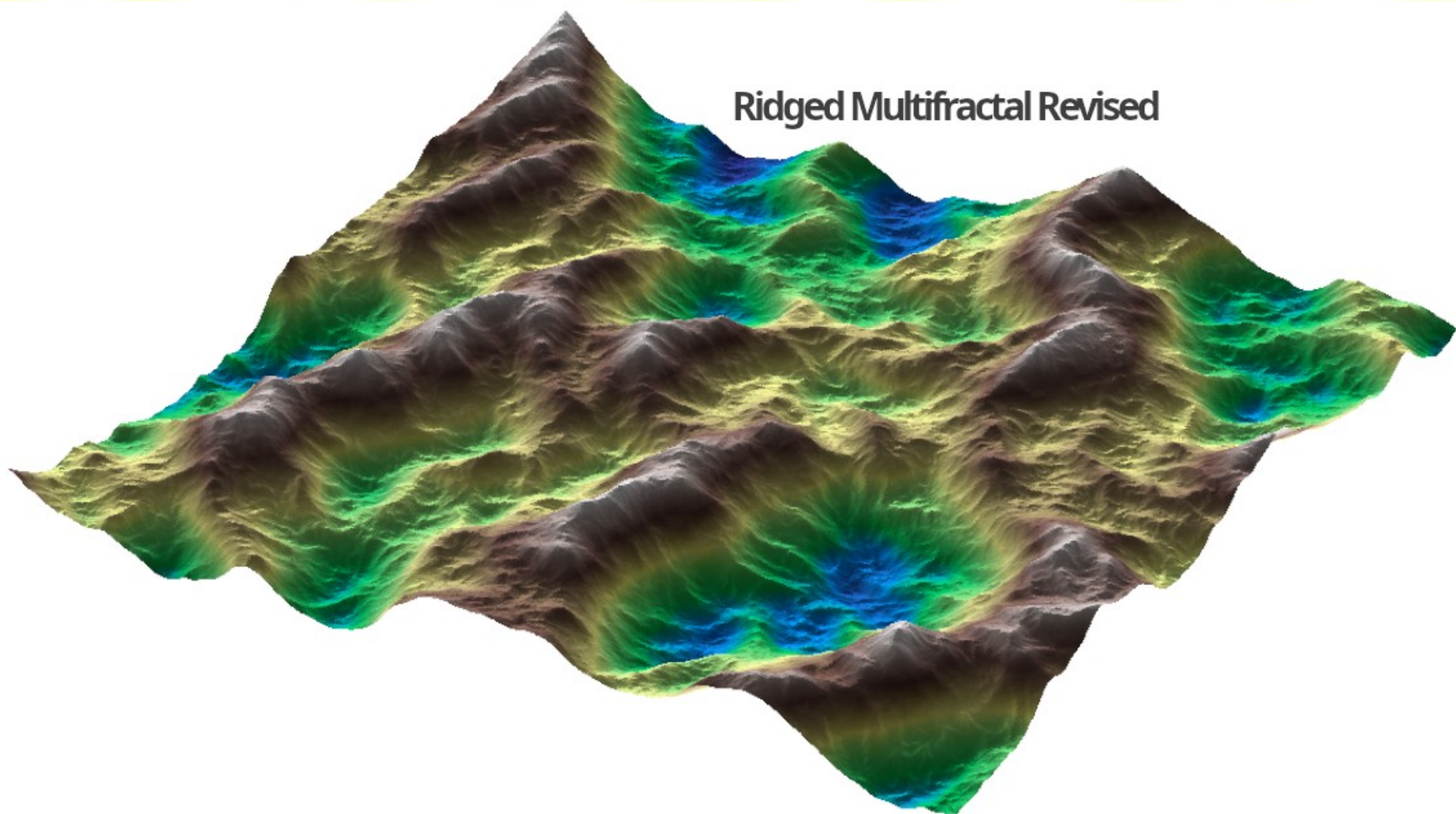
Hybridný multifraktál



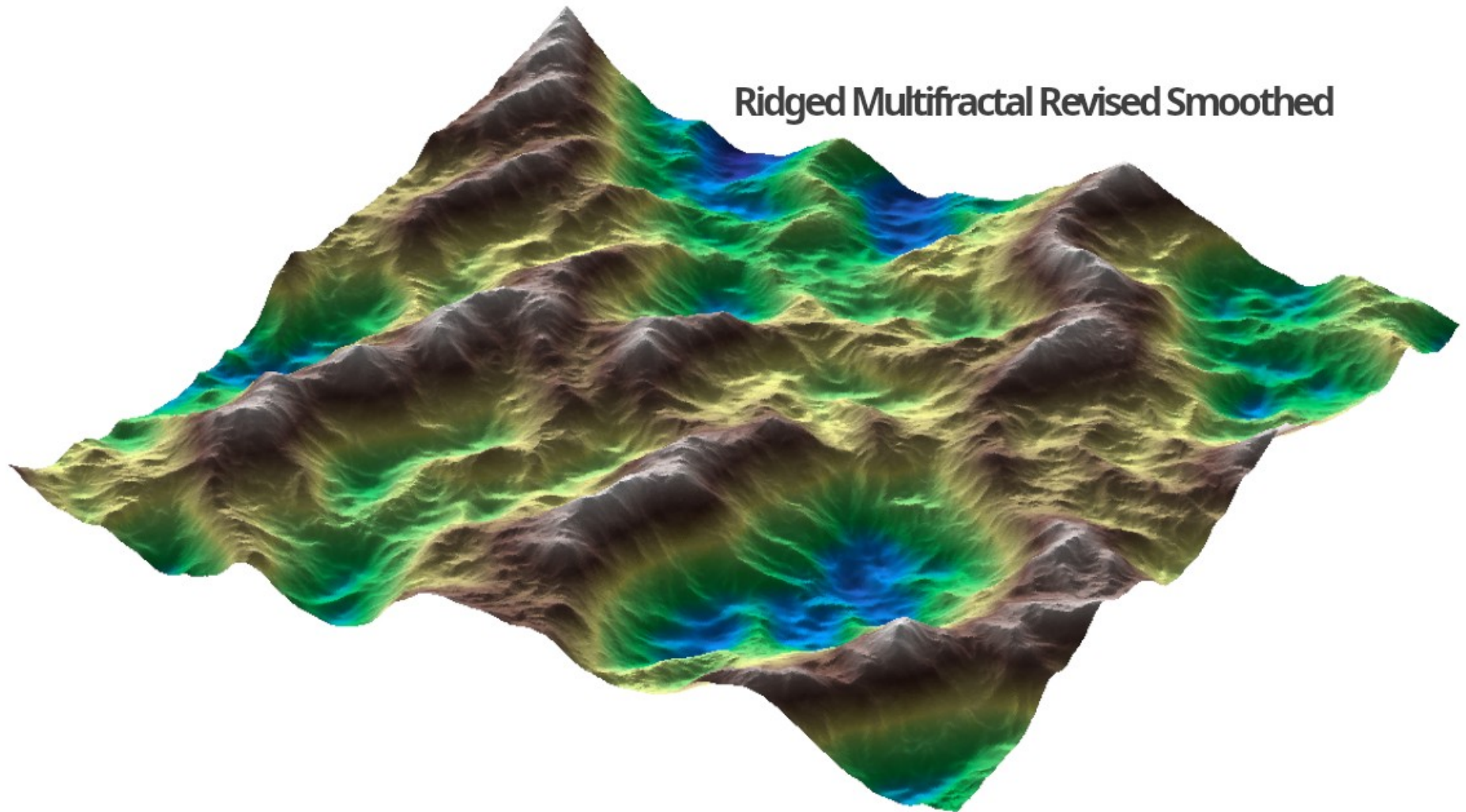
Hrebeňovitý fraktál



Hrebeňovitý fraktál – obmena



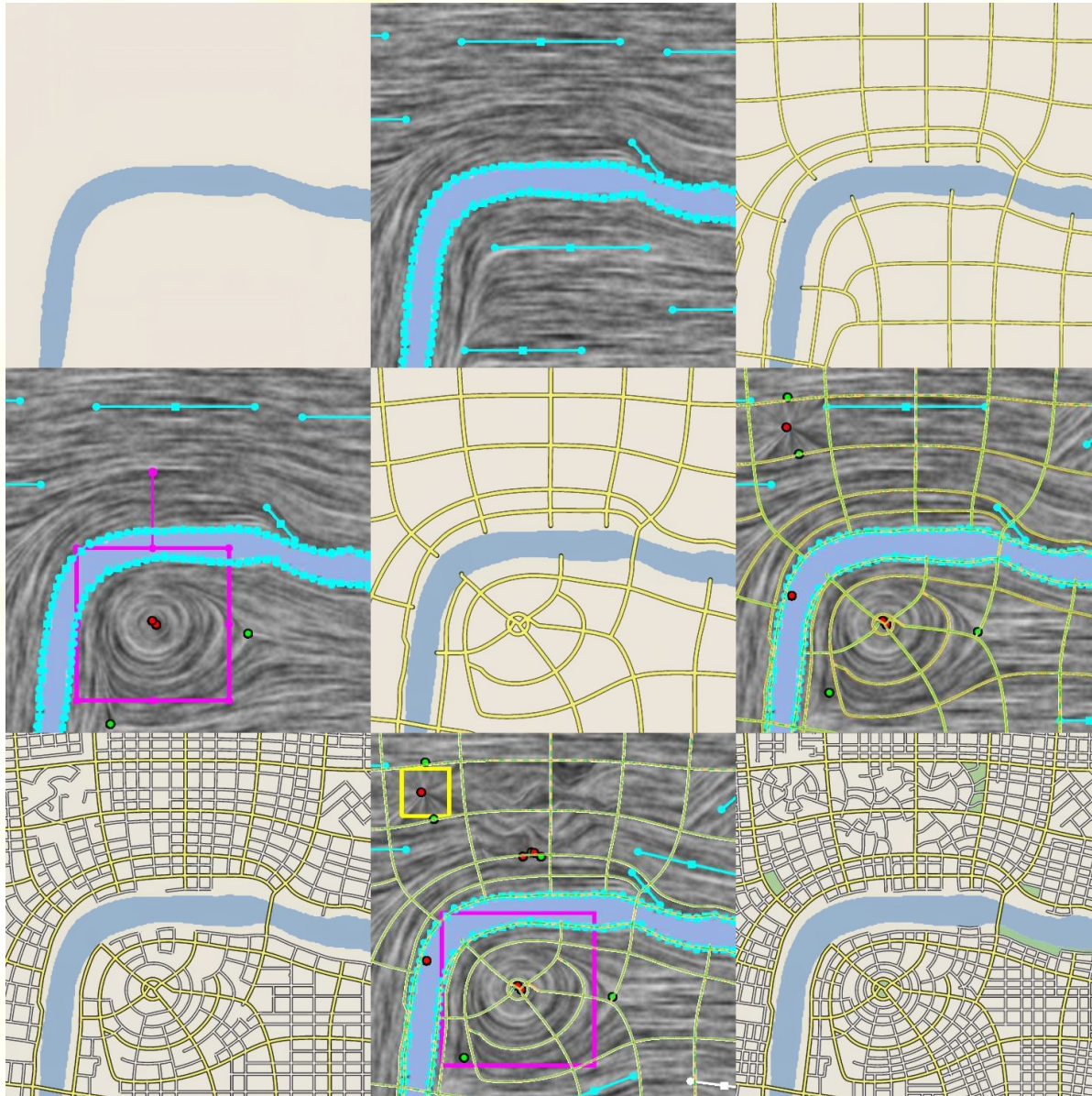
Hrebeňovitý fraktál – obmena + vyhladenie



Tenzorové polia

- Tenzorové pole je generované na základe obmedzujúcich prvkov zadávaných používateľom a topografickej informácie (hranice vodných plôch, parkov, výškovej mapy, ...)
- Každý obmedzujúci prvok je konvertovaný na bázu tenzorového poľa
- Tieto polia sú potom spájané do jedného celku použitím lokálnych radiálnych bázických funkcií
- Používajú sa rôzne typy polí pre generovanie rôznych vzorov – *mriežkové*, *kruhové*, *hraničné*, *výškové*

Tenzorové polia



Softvér na tvorbu terénu

- Vue, Bryce, L3DT, Terragen, World Machine
- Základné verzie týchto programov sú zadarmo, cena sa pohybuje medzi 35 – 1695 USD.







