

Čtenáři, kteří si nenechali ujít první díl tohoto seriálu, už jistě tuší: úchvatná krajina v úvodním obrázku se cele zrodila díky aplikacím fraktální geometrie. V tomto pokračování si povšimneme dalších metod konstrukce fraktálních objektů a začneme se věnovat některým oblastem praktického využití této fascinující disciplíny.

Když rozkvetou fraktály... (2)

Dalším algoritmem, kterým lze zkonstruovat fraktální objekt, je tzv. **TEA (Time Escape Algorithm)**. Tento algoritmus je také iterační, provádí ovšem dané iterace jen do uživatelsky zvolené hranice. Jeho hlavním principem je sledování "úniku" dané trajektorie z oblasti definované touto hranicí.

TEA se používá v komplexní (definiční) oblasti a pracuje tak, že odtud bere bod po bodu a jako inicializační hodnoty pro start použije komplexní souřadnice jednotlivých bodů. Po této inicializaci - proběhne příslušná transformace a vyhodnotí se, zda modul výsledného komplexního čísla přesahuje hranice zadané oblasti. Pokud ne, nově vypočítané komplexní číslo se použije pro iteraci v kroku dalším a opět se kontroluje překročení hranice. To se neustále opakuje, dokud není vyčerpán uživatelsky zadaný počet cyklů.

Pokud trajektorie, vzniklá těmito iteracemi, zůstává uvnitř hranic oblasti, pak se danému startovnímu bodu přiřadí černá barva. Dojde-li k jejich překročení, iterační proces se zastaví a příslušnému startovnímu bodu se přiřadí barva "úměrná" počtu iterací, které byly potřebné pro překročení hranice. Celý princip znázorňují obrázky 1 a 2.

Aplikací uvedeného algoritmu vznikají atraktivní grafické objekty, které svou krásou možná předčí nejen lidské umělecké výtvary, ale i kreace matky přírody samé. Na počítačovou veřejnost zapůsobily tak silně, že dokonce vznikl nový umělecký směr, tzv. "artware" – snad vás o působivosti těchto děl přesvědčí naše malá galerie, která tento článek doprovází.

Fraktály vzniklé pomocí IFS a TEA pochopitelně mohou posloužit nejen pro umělecké potřeby, ale i v průmyslu, kde je lze použít na vzory látek. Uplatňují se i v počítačových hrách, například pro tvorbu krajin. O tom, že fraktály nejsou jen hezkou hračkou, která se díky počítačům vymanila z područí "čistých" matematiků, se ostatně přesvědčíte v dalším textu, kde si přiblížíme jejich praktické použití v predikci, šifrování a v počítačovém vidění.

Fraktály v predikci

Po mnohaletém pozorování hodinových dat na burze v New Yorku objevil jistý pan R. N. Elliot zajímavou zákonitost, později po něm nazvanou **Elliotova vlna**. Vznik, či snad lépe objevení Elliotovy vlny a popis jejího chování lze datovat do období let 1935 – 1947, během nichž pan Elliot shromáždil množství empirických znalostí o struktuře a vzájemných souvislostech mezi jednotlivými fázemi

Elliotových vln. Teprve později, v druhé polovině našeho století, bylo zjištěno, že Elliotovy vlny nejsou nic jiného než fraktály.

Ještě později se ukázalo, že celý jev úzce souvisí s chováním na první pohled chaotických systémů, jakým je např. burza. Elliotovy vlny samozřejmě nejsou vázány jen na činnost burzy, ale lze je pozorovat i v chování jiných dynamických systémů (např. sluneční aktivita); zde si je – i z historických příčin – ukážeme na příkladu burzy.

To, že Elliotova vlna je fraktál, je dáno skutečností, že se její motiv (tvar) sám v sobě opakuje – jak víme, jde o základní charakteristiku fraktálů.

Dobrá znalost teorie Elliotových vln dokonce umožňuje případnému zájemci s velkou pravděpodobností určit možné zlomy v cenovém vývoji, a tím minimalizovat riziko obchodování na burze. Jinými slovy, Elliotovy vlny jsou části časových řad, které se dají použít k jejich predikci.

Celá podstata Elliotových vln vychází z poznatku o existenci cyklu, který se skládá ze dvou fází, a to z fáze *impulzní* (vývoj ve směru trendu) a *korekční* (vývoj proti směru trendu) – vzpomeňte si na Noemův a Josefův efekt, o nichž jsme se zmínili minule. Každá impulzní fáze se skládá ze tří “podvln” vzestupných (pět zlomů) a každá korekční fáze ze dvou “podvln” sestupných (tři zlomy), jak je vidíte na obr. 3.

Použití Elliotových vln pro určování budoucího vývoje je relativně jednoduché. Jestliže se v burzovním vývoji vyskytne vlna, která se jeví jako Elliotova, lze po pátém zlomu vlny impulzní (5) anebo po třetím zlomu vlny korekční (3) očekávat změnu ceny opačným směrem, než jakým se ubíral dosavadní trend. Samozřejmě to není vždy tak snadné, poněvadž Elliotovy vlny bývají velmi často různě deformovány, což se také promítá do budoucího průběhu vývoje ceny. Z deformací, které zkreslují jinak ideální vzhled Elliotových vln, lze mnohdy vyčíst, v jakém stavu se trh (nebo jakýkoliv systém) momentálně nachází – a tedy také, co by mohlo následovat. Vzhledem k tomu, že se Elliotovy vlny v čisté podobě (obr. 3) vyskytují v porovnání s vlnami zkreslenými vzácněji, uvedeme i popis některých zkreslení a jejich význam.

Základní **impulzní vlna** je ve směru trendu rozdělena do pěti segmentů. Tato vlna bývá často deformována v několika variacích, z nichž nejdůležitější se zpravidla nazývají

Extension (rozšířená), **Diagonal Fifth** (diagonální pátá), a vyskytuje se i **Failed Fifth** (neúspěšná pátá).

Korekční vlny se objevují po vlně impulzní a působí proti jejímu trendu – korigují ji. Tyto vlny mohou mít komplikovanější tvar než vlny impulzní. Tři základní typy korekčních vln jsou **Zigzag** (cikcak), **Flat** (hladká, plochá), **Triangle** (trojúhelník).

Pro ukázkou si prohlédněme jednoduchý příklad vývoje na obr. 4. Zde je jasně vidět Elliotova vlna, která se po pátém zlomu skutečně lomí dolů, jak to určují obecná pravidla (na obr. 5 také). Po tomto zlomu následuje i korekční vlna “a-b-c”. V tomto vývoji však lze rozeznat i korekční podvlnu “trojúhelník” (známou jako formace z technických ukazatelů), která je opuštěna cenovým vývojem skutečně ve směru předcházejícího trendu.

V této Elliotově vlně jsou tedy dvě cesty, jimiž se bude vyvíjet cena, a to směrem nahoru (trojúhelník) a směrem dolů (zlom po pátém vrcholu).

Tam, kde není cyklus Elliotovy vlny dokončen, není samozřejmě analýza tak jistá jako v našem případě (kdy cyklus dokončen je), nicméně zkušený analytik ve spolupráci s dobrým softwarem a podporou dalších ukazatelů může být schopen velmi solidních predikcí.

To, co jsme zde o Elliotových vlnách uvedli, je samozřejmě jen zlomek celé teorie. A je třeba také zdůraznit, že tato teorie má skutečně efektivní uplatnění jen tehdy, jsou-li k dispozici solidní data o systému, který je produkuje.

Jako názorný příklad může posloužit ukázka hned tří výskytů Elliotových vln v různých časových řadách. Na obrázcích 4 a 5 rozpoznáváme takové vlny ve vývoji cen akcií na burze. Z jejich průběhu je vidět, že se chovají zhruba tak, jak by se “slušná” Elliotova vlna chovat měla. Na obr. 5 je ovšem v jejím chování jistá deformace, a to vymizení korekční sekvence – ta je nahrazena prudkým spádem dolů.

Na obr. 6 vidíme ukázkou Elliotových vln nalezených autorem v grafu sluneční aktivity (data z AÚ AV ČR Ondřejov). Paralelně s vlnami byly nalezeny i známé formace jako “trojúhelník” a další. Co je příčinou těchto zajímavých jevů, není dodnes hodnověrně objasněno.

Prozatím se nabízejí dvě možná vysvětlení. Prvním z nich je tzv. *intermittence* neboli občasnost, střídavost (viz [10]; seznam literatury bude uveden v závěrečné části seriálu), což je zhruba časové období, kdy příslušný dynamický systém přechází z chování deterministického do chaotického a naopak. V takovém období pak vznikají v chování systému útvary jako “trojúhelník”, “vlajka” a jiné, které jsou velmi dobře známy z burz celého světa [11].

Druhou možností je tzv. *samoorganizace* [9]. Samoorganizace je mimořádně fascinující jev, jehož vysvětlení by se mohlo stát mostem přes propast, kterou pro nás doposud znamená hranice mezi živým a neživým. Tento fenomén je přitom relativně dobře popsán a prostudován ve fyzikálních, biologických a sociologických systémech. V jeho průběhu se obrovské množství nezávislých jednotek (lidí, molekul, apod.) začne chovat jako jediný živý a komplikovaný “organismus”. Statisíce lidí si najednou začnou počínat jakoby podle společného scénáře (vzpomeňme na burzu a Elliotovy vlny), miliony molekul začnou tvořit velmi komplikované a v čase se měnící útvary, které pak vykazují fraktální strukturu (viz např. sluneční aktivita).

Takové chování však nevykazují jen nejnižší “elementární částičky” daného systému, ale i jeho subsystémy. Velmi hezkým příkladem samoorganizace je např. Bělousovova-Žabotinského reakce, která byla poprvé prezentována na mezinárodním sympoziu v Praze r. 1968. Tato reakce vytváří opakující se komplikované vzory s fraktální strukturou. Miliony molekul jednotlivých chemických sloučenin se chovají velmi organizovaně a uspořádaně [9].

Jakkoli to zní neuvěřitelně, všechny tyto rozdílné systémy – burza (lidé), chemické reakce (molekuly), sluneční činnost (atomy) – se pravděpodobně řídí stejnými zákony, a tudíž se dá také očekávat i podobné chování, které lze skutečně vypořadovat.

Příště se podíváme na využití fraktálů v oblasti, kde bychom je asi opravdu nečekali, totiž v šifrování.

Ivan Zelinka (zelinka@zlin.vutbr.cz)