**Chaotické systémy porušují princip kauzality**

„Příčina předchází důsledek“ je princip kauzality platný v přírodních i sociálních vědách. Teorie chaosu odhaluje jevy, jejichž budoucnost nelze spolehlivě předpovědět ani při znalosti matematických rovnic popisujících vývoj takovýchto - chaotických systémů. Je možné, aby v posloupnostech jevů s nejasnou budoucností důsledek předcházel příčinu, čili aby chaotické systémy porušovaly princip kauzality?

Ve studiích složitých dynamických jevů je rozlišení příčiny a důsledku poměrně náročným úkolem. Moderní matematické a výpočetní metody umožňují odhalit kauzální vztahy v experimentálních datech, která odrážejí vývoj studovaných jevů nebo systémů v čase. Příkladem takových dat mohou být elektrické signály mozku (EEG) či srdce (EKG) nebo dlouhodobé záznamy teplot vzduchu nebo jiných meteorologických veličin. Chaotické systémy jsou matematické modely složitých přírodních jevů, například procesů v atmosféře Země nebo v lidském těle. V nejnovější studii vědci z Ústavu informatiky AV ČR a Ústavu merania SAV zjistili, že chaotické systémy porušují princip kauzality. Při počítačové simulaci změny směru času u běžných, tzv. lineárních systémů matematické metody detekce kauzality, podle očekávání, prohodí příčinu a následek. Avšak u chaotických systémů příčina zůstává příčinou i při zpětném běhu času, a to i tehdy, když se odehraje až po následku. Tento paradox můžeme pozorovat v počítačové simulaci, ale nemůže k němu dojít ve skutečném světě, protože chaotické systémy nejsou reverzibilní v čase.

Pokud se uvedený paradox objeví v kauzální analýze reálných dat, během které otočíme datový proud v čase a příčina si nevymění roli s následkem, dostáváme tím signál, že zkoumaná data pocházejí z chaotického procesu. A v tom je praktický význam této studie. Získané vědomosti nám pomohou poodhalit fyzikální mechanismy, které vedou ke kauzálním vztahům pozorovaným v experimentálních datech. Například v atmosféře Země se kauzální vliv fenoménu El Niño na počasí ve vzdálených oblastech realizuje jako lineární transfer časově zpožděných signálů. Z matematické do fyzikální řeči přeloženo jako transport vzdušných mas a s nimi svázané energie. Na druhé straně, v lidském těle rytmus dýchání ovlivňuje rytmus srdce a tento kauzální vztah je možno chápat jako interakci nelineárních, potencionálně chaotických oscilátorů.

Popis této studie a jejich výsledů je obsahem článku:

M. Paluš, A. Krakovská, J. Jakubík, M. Chvosteková: *Causality, dynamical systems and the arrow of time*, který vychází v časopisu Chaos.

Chaos **28**, 075307 (2018); <https://doi.org/10.1063/1.5019944>

Preprint: http://www.cs.cas.cz/mp/epr/epr0.html

Kontakt:

RNDr. Milan Paluš, DrSc.

Ústav informatiky AV ČR, v.v.i.

mp@cs.cas.cz