

# Poročilo okrivanja 1-D ODE v Lorenzovemu sistemu

15. december 2020

Odkrivanje 1-D ODE enačb sem poganjal na Lorenzovemu sistemu enačb:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \sigma(y - x), \\ \frac{dy}{dt} &= x(\rho - z) - y, \\ \frac{dz}{dt} &= xy - \beta z,\end{aligned}$$

pri začetnih pogojih  $x_0 := 0.1, y_0 := 0.3, z_0 := 0.4$ . Začetni pogoji so isti v vseh primerih skozi celotno poročilo. Parametri  $\sigma, \rho$  in  $\beta$  pa se sredi poročila spremenijo. Najprej sem obravnaval nekaotične parametre, nato pa še znano kaotične parametre z vrednostmi  $\sigma := 10, \rho := 28$  in  $\beta := 8/3$ . Algoritem sem poganjal s pomočjo datoteke `lorenz.py`, kjer sem ob poganjanju ustrezno nastavil parametre in število vzorcev.

## 0.1 Domnevno nekaotični parametri

Najprej sem algoritem pognal pri nekaotičnih subjektivno naključno izbranih parametrih  $\sigma := 1.3, \rho := -15$  in  $\beta := 3.4$ . Navedeni izbrani parametri se na splošno smatrajo kot nenormalni, saj je vsaj eden izmed parametrov ( $\rho$ ) nepozitiven.

Za prvo enačbo  $\frac{dx}{dt} = \sigma \cdot (y - x)$ , algoritem najde rešitev

$$\frac{dx}{dt} = -1.3 * x + 1.3 * y$$

v 50 vzorcih, medtem ko ima rešitev napako reda  $10^{-9}$ .

Za drugo enačbo  $\frac{dy}{dt} = x(\rho - z) - y$ , algoritem najde rešitev

$$\begin{aligned}\frac{dy}{dt} &= -9.99969912689157 * x * z - 9.99918437188885 * x + 0.0193086499353945 * \\ &y - 1.09610736513107 * z \\ &\doteq -10 * x * z - 10 * x + 0.02 * y - z \quad \text{oz.}\end{aligned}$$

$$-10.0 * x * z - 10.0 * x - 2.28910354326151 * y = 10 * x * z - 10 * x + 2 * y$$

v 4500 ali 6500 vzorcih, rešitev ima pri tem napako reda velikosti  $10^{-6}$  oz.  $10^{-4}$ .

Tako velik odmik od prave rešitve  $-x * z - 15 * x - y$  pripisujem trenutno nastavljeni omejitvi v implementaciji optimizacijskega algoritma, ki omejuje

parametre na interval  $[-10, 10]$ . Parameter v členu  $-10 * x$  je tako lahko po absolutni vrednosti največ 10, torej ne more biti -15, kot je v izvorni enačbi. Predvidevam, da se zato zgodi kompenzacija nad ostalimi parametri v ostalih členih enačbe. Predvidevam še, da se bo pri rahljanju omejitve iz  $[-10, 10]$  na  $[-20, 20]$  napaka popravila na napako reda  $10^{-9}$  kot pri ostalih dveh enačbah.

Za tretjo enačbo  $\frac{dz}{dt} = xy - \beta z$ , algoritem najde rešitev

$$\frac{dz}{dt} = 1.054 * x * y - 3.402 * z$$

v 100 vzorcih, medtem ko ima rešitev napako velikosti  $2.205 \cdot 10^{-9}$ , torej reda  $10^{-9}$ .

## 0.2 Kaotični rezultati

Sledi poročilo o poganjanju pri kaotičnih parametrih:  $\sigma := 10, \rho := 28, \beta := 8/3$ .

Ker je  $\rho$  po absolutni vrednosti spet večji od 10, tj. od nastavljenih mej za parametre optimizacijskega algoritma in so ostali dve vrednosti znotraj mej, predvidevamo da bodo v najboljšem primeru podobni rezultati kot v nekaotičnem primeru. Natančneje, pri drugi enačbi špekuliramo enačbo  $10 * x * z - 10 * x + 7 * y$ .

V odkrivanju prve enačbe algoritem odkrije enačbo:

$$\frac{dx}{dt} = -9.85764357227234 * x + 9.9333747564978 * y$$

oz.

$$\frac{dx}{dt} = -9.55829580188787 * x + 9.78920618974904 * y + 0.0232261285460231$$

v manj kot 50 vzorcih, medtem ko ima rešitev napako velikosti  $2.94709382690573e-06$  oz.  $2.4772067855792343e-06$ , torej reda  $10^{-6}$ .

V odkrivanju druge enačbe algoritem odkrije enačbo:

$$\frac{dy}{dt} = -0.670382396435091 * x * z + 10.0 * x + 6.94013313376156 * y$$

oz.

$$\frac{dy}{dt} = -0.877950876789105 * x * z + 9.99535400929563 * x + 7.38550161602604 * y - 0.617064542958862$$

v 4500 oz. 6500 vzorcih, medtem ko ima enačba napako velikosti  $0.0033668325250160443 = 3.4 \cdot 10^{-3}$  oz.  $0.00018803715641311185 = 1.9 \cdot 10^{-4}$ . Za primerjavo, je izmed vseh vzorčenih enačb, najmanjša opažena napaka reda  $10^{-5}$ .

V odkrivanju tretje enačbe algoritem odkrije enačbo:

$$\frac{dz}{dt} = 0.991337569095305 * x * y - 2.56521319047224 * z$$

v manj kot 100 vzorcih, medtem ko ima enačba napako velikosti  $9.178140365155879e-05 = 9.2 \cdot 10^{-5}$ , kar je v okviru najmanjšega opaženega reda velikosti napake.

# 1 Poročilo v tabeli

Celotno poročilo je stisnjeno tudi v naslednji tabeli:

tip enačbe oz. para- metri	leva stran enačbe	najdena desna stran enačbe vs. izvorna enačba	napaka enačbe	število po- treb- nih vzor- cev	hramba rezul- tatov	top 1%
nekaotična,	$\frac{dx}{dt}$	$-1.303 * x + 1.303 * y$	$\cdot 10^{-9}$	50		
tj. $\sigma =$		$-1.3 * x + 1.3 * y$				
1.3, $\rho =$	$\frac{dy}{dt}$	$-10.0 * x * z - 10.0 * x - 2.289 * y$	$8 \cdot 10^{-4}$	100		
-15, $\beta =$		$-x * z - 15 * x - y$				
3.4	$\frac{dz}{dt}$	$1.054 * x * y - 3.402 * z$	$2.205 \cdot 10^{-9}$	6500		
		$x * y - 3.4 * z$				
kaotična,	$\frac{dx}{dt}$	$-9.857 * x + 9.933 * y$	$2.947 \cdot 10^{-6}$	50		
tj. $\sigma =$		$-10 * x + 10 * y$				
10, $\rho =$	$\frac{dy}{dt}$	$-0.670 * x * z + 10.0 * x + 6.940 * y$	$1.9 \cdot 10^{-4}$	100		
28, $\beta =$		$-x * z + 28 * x - y$				
2.66666	$\frac{dz}{dt}$	$0.991 * x * y - 2.565 * z$	$9.2 \cdot 10^{-5}$	6500		
		$x * y - 2.66666 * z$				