

Využitie Evolučných Algoritmov pre pohyb Hexapoda v nerovnom teréne

Prezentácia na základe článku: [Leveraging Evolutionary Algorithms for Feasible Hexapod Locomotion Across Uneven Terrain](#)

(Jack Vice, Gita Sukthankar, and Pamela K. Douglas)

Pačuta, Kožlej

Problém a Motivácia

Výzva:

- Optimalizácia stability chôdze pre nohaté roboty je komplexný problém, najmä v nerovnom teréne s prekážkami.



Prečo Hexapod (6-nohý robot)?

- Inšpirácia biológiou (hmyz).
- Vrodená stabilita (trojnožkový postoj).
- Schopnosť prekonávať prekážky vyššie ako ťažisko robota.
- Vysoký počet stupňov voľnosti (DOF) - typicky 18+ pre efektívnu chôdzu.



Cieľ:

- Vyvinúť stabilný ovládač chôdze pre hexapoda schopného prekonávať nerovný terén a prekážky pomocou evolučných algoritmov (EA).

Prečo Evolučné Algoritmy (EA)?

Veľký priestor riešení:

- Optimalizácia chôdze s mnohými parametrami (18+ DOF) je zložitá.

Inšpirácia biológiou:

- EA napodobňujú prirodzený výber a evolúciu.

Atraktívne riešenie pre:

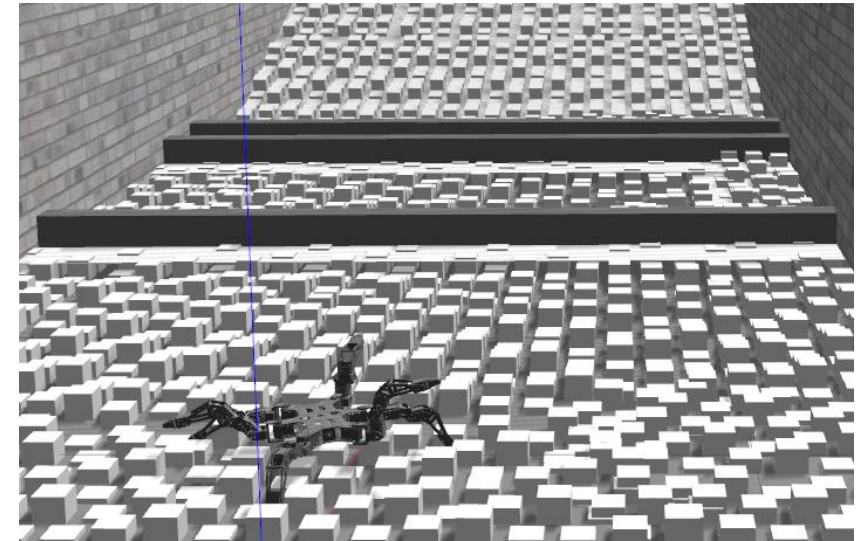
- Implementáciu robotickej lokomócie.
- Energetickú úspornosť.
- Rýchlu konvergenciu parametrov.

Vhodnosť pre problém:

- EA sú dobrým kandidátom na hľadanie optimálnych parametrov chôdze v rozsiahlom priestore možností.

Simulácia a Robot

- Simulačné prostredie:
 - Gazebo (s fyzikálnym engineom ODE - Open Dynamics Engine).
 - Umožňuje testovať tisíce konfigurácií bez fyzického robota.
 - Integrácia s ROS (Robot Operating System) pre ovládanie a telemetriu.
- Robot:
 - PhantomX Hexapod (simulovaný model).
 - 18 stupňov voľnosti (3 na nohu).
 - Špecifická konfigurácia nôh (uhly panvičky (coxa)).
 - Upravená hmotnosť modelu (2.5 kg) pre lepšiu zhodu s reálnym robotom.
- Prekážková dráha:
 - Virtuálna trasa (8.2 x 3 m) s rôznymi nerovnosťami (modelované ako schodíky, výška: 0-7.6 cm), prekážkami (trámy) a stúpaním (45°).



Ovládanie Chôdze

- Typ chôdze:
 - Otvorená slučka (Open Loop) - bez spätnej väzby od senzorov kontaktu so zemou.
 - Užitočné pre roboty bez senzorov alebo na deformovateľných povrchoch (vegetácia).
- Základ:
 - Trojnožný (tripod) postoj - vždy 3 nohy na zemi pre stabilitu.
- Pohyb kĺbov:
 - Riadené kosínusom z rôznou amplitúdou, frekvenciou a fázovým posunom.
 - Panvička (coxa): Kĺb spájajúci nohu s telom. Pohybuje sa dopredu a dozadu.
 - Stehná (femur) a holene (tibia): Kosínusoidy s rovnakou alebo dvojnásobnou periódou ako pohyb panvičky. Pohybujú sa hore a dole. Ich pohyb je načasovaný voči pohybu panvičky.
- Symetria:
 - Predpoklad symetrickej chôdze znižuje počet parametrov na polovicu (stačí evolúcia pre jednu stranu, druhá strana je fázovo posunutá).

Nastavenie Evolučného Algoritmu (1/2)

- Reprezentácia:
 - 24 reálnych čísel - parametre pre 3 nohy.
- Parametre na nohu (8):
 - Femur: periódá (1 alebo 2), fáza $\langle 0 ; 2\pi \rangle$, rozsah $\langle 0 ; 1,7 \rangle$ rad, vertikálny posun $\langle -1 ; 1 \rangle$.
 - Tibia: periódá (1 alebo 2), fáza $\langle 0 ; 2\pi \rangle$, rozsah $\langle 0 ; 1,7 \rangle$, vertikálny posun $\langle -1 ; 1 \rangle$.
- Funkcia trajektórie kĺbu:
 - $\gamma(\alpha, p, t, \phi, v) = \alpha \cdot \cos((p \cdot t) + \phi) + v$
 - (α = amplitúda/rozsah, ϕ = fáza, p = periódá, t = čas, v = vert. posun)

Nastavenie Evolučného Algoritmu (2/2)

- Inicializácia populácie:
 - Gaussovská mutácia ručne vyladenej chôdze pre terén (seed jedinec nebol zahrnutý).
- Veľkosť populácie: 200 jedincov.
- Počet generácií: 23.
- Selekcia:
 - Turnajová (najlepší z prvej polovice vs. najlepší z druhej polovice populácie).
- Reprodukcia (tvorba novej generácie):
 - 50% šanca: Gaussovská mutácia lepšieho rodiča (pravdepodobnosť mutácie parametra 40%).
 - 50% šanca: Dvojbodové kríženie (crossover) rodičov (použitá funkcia z DEAP frameworku).
- Elitizmus:
 - Nepoužitý (rodičia neprežívajú do ďalšej generácie).

Fitness Funkcia

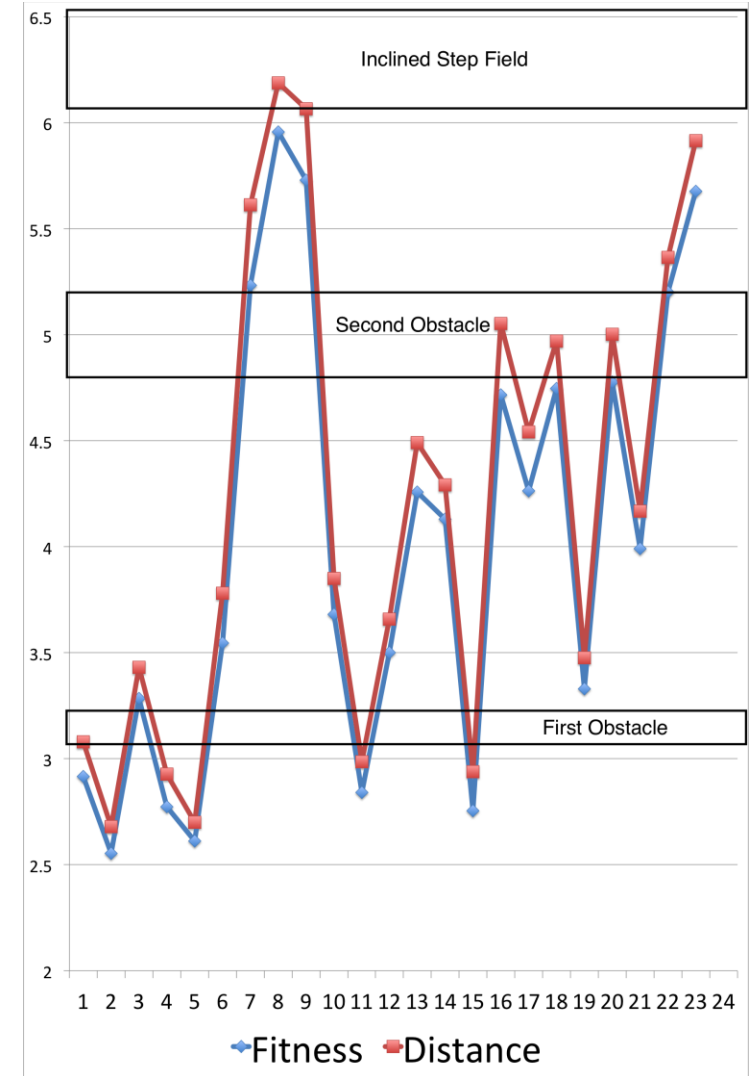
- Kľúčový prvok EA:
 - Meria "kvalitu" alebo "úspešnosť" jedinca.
- Ciele:
 - Maximalizovať rýchlosť (v) a stabilitu (minimalizovať orientačnú odchýlku D)
- Vzorec:
 - $fitness = \max_{v, z_j \in C} f(v, \sum_j -\frac{|\partial D_j|}{\partial D_{j0}})$
 - v : priemerná rýchlosť
 - D : Súhrnná negatívna orientačná odchýlka od počiatočnej orientácie
- Predčasné ukončenie testu jedinca:
 - Prílišná nestabilita (prekročenie uhlov náklonu/otáčania: 45° roll, 70° pitch, 90° yaw).
 - Pohyb vzad ($> 0,2$ m).
- Trvanie testu:
 - Max 90 sekúnd alebo dosiahnutie konca dráhy (8,2 m).

Prehľad Výsledkov

- Porovnanie:
 - Ručne ladená chôdza (pre rovný povrch): 8.6 m za 34.8 s (na rovine).
 - Ručne ladená chôdza (na dráhe): Len 1.28 m za 34.8 s.
- Evolvovaná chôdza:
 - Najlepší výsledok (Gen 8): Prešla > 6 metrov dráhy za 90 sekúnd.
 - Dosiahla prvú prekážku už v 1. generácii.
 - Prekonanie prvej prekážky: Generácia 6.
 - Prekonanie druhej (dvojitej) prekážky: Až generácie 22 a 23.
- Priebeh Fitness:
 - Rýchly nárast (Gen 5-8), potom pokles, neskôr opätovný nárast (Gen 23 dosiahla 96% fitness Gen 8).

Analýza Chôdze a Parametrov

- Porovnanie najlepších (Gen 8 vs Gen 23):
 - Podobný výkon (fitness a vzdialenosť len 5% rozdiel).
 - Výrazné rozdiely v parametroch (priemerne 22% rozdiel) => pravdepodobne odlišné lokálne optimá v priestore riešení.
 - Najpodobnejšie: Kinematika predných holení (tibia).
 - Najrozdielnejšie: Kinematika zadných holení.
- Analýza pohybu nôh (najlepšia chôdza):
 - Predné nohy: Veľký rozsah pohybu holene (tibia) - prekonávanie prekážok.
 - Stredné nohy: Väčšinu práce robí stehno (femur), malý rozsah holene.
 - Zadné nohy: Malý rozsah stehna aj holene - skôr stabilizačná funkcia.



Kľúčové Parametre

- Analýza kovariacie:
 - Skúma vzťah medzi zmenou parametra a prejdenou vzdialenosťou počas evolúcie.
- Vysoko korelované s vzdialenosťou (kľúčové pre úspech):
 - Fáza predného stehna (Front Femur Phase) - Kedy presne sa predné stehno začne hýbať hore/dole.
 - Fáza stredného stehna (Middle Femur Phase) – Rovnako ako pre predné stehno.
 - Fáza zadnej holene (Rear Tibia Phase) - Kedy presne sa zadná holeň začne hýbať voči pohybu panvičky (coxa).
- Význam:
 - Správne načasovanie pohybu kĺbov voči panvičke (coxa) je kritické. Ak noha nie je v správny čas na správnom mieste, robot sa nepohne efektívne.
- Nízko korelované s vzdialenosťou:
 - Vertikálny posun predného stehna
 - Rozsah strednej holene
 - Vertikálny posun zadného stehna
 - Rozsah zadnej holene

Priestor na otázky