

“Modern Habitat”, Scientific-Specialized Monthly Journal, Persian Edition, Volume 3, Number 3, Fall 2025

Presentation of an advanced mathematical model "ECODYN-RL" for Multidimensional Dynamic Environmental Assessment

ارائه مدل ریاضی پیشرفته "ECODYN-RL" برای ارزیابی چند بعدی پویای زیست محیطی

نوع مقاله: روش شناسی (ارائه مدل جدید)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۵	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۵	تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۸/۳۰
Hash: 047355da078bf5c6d23da64261e15cc22fa25eb91daa4ab023dd85ac31d1e9c6		Article ID: MH-SMJ-8-3-3-2025, P4,3

نویسندگان

۱ نازیلا سپهرکیا (نویسنده مسوول)

سردبیر زیستگاه مدرن

<https://orcid.org/0009-0009-7179-5836>

Email: nazilasepehrkiya@zistgahemodern.ir

چکیده

با پیشرفت تصاعدی و لحظه ای علم در عصر حاضر، همه اندیشمندان و دست اندرکاران امور زیست محیطی به این نتیجه رسیده اند که رویکردهای سنتی گذشته نمیتواند پاسخگوی نیازها در ابعاد وسیعتر کنونی باشد. بیشتر نهادها برای جبران این خلاء، دست به دامان هوش مصنوعی شده اند و باور دارند که حل مشکلات عصر جدید صرفا به کمک هوش مصنوعی قابل حل و اجرا است. نباید فراموش کنیم که هوش مصنوعی نیز بر اساس فرمولها و الگوریتمهای ریاضی، البته از نوع پیچیده تر و پیشرفته تر تشکیل شده و محاسبات دارای حجم بالا را به کمک یارانه های پیشرفته عصر جدید، کارتهای گرافیکی بسیار قوی و پردازنده های غوف پیکر در کسری از ثانیه امکان پذیر می سازد. بنابراین همچنان میتوانیم به ارائه مدلهای ریاضی برای حل مشکلات زیست محیطی بپردازیم و بخش پردازش و محاسبات تحلیلی را به هوش مصنوعی بسپاریم. مدل "ECODYN" نمونه پیشنهادی برای ارزیابی چند بعدی دینامیکی محیط زیست به کار می رود و تمرکز آن بر روی موضوع تغییرات اقلیمی و بلایای طبیعی است که در این مقاله قصد داریم به شرح استخوان بندی ساختار آن بپردازیم و تا حدودی نحوه عملکرد گام به گام آن را توضیح دهیم. خوانندگان این مقاله اجازه دارند (با رعایت قانون کپی رایت مدل و ذکر آدرس مقاله در مجله) جهت اجرای این مدل، کدهای کامپیوتری به زبان های دلخواه خود نوشته و در سازمانهای مورد نظر به اجرا در آورند.

واژه های کلیدی: ارزیابی محیط زیست، ارزیابی چند بعدی، مدل پویا، تغییرات اقلیمی ، بلایای طبیعی

۴. فاکتور تخفیف:

$\gamma \in [0, 1]$ فاکتور تخفیف برای ارزش گذاری پاداش‌های آینده

۵. تابع ارزش:

$$V(s) = \max_a [R(s, a) + \gamma * \sum_{s'} P(s' | s, a) * V(s')]$$

۶. تابع Q:

$$Q(s, a) = R(s, a) + \gamma * \sum_{s'} P(s' | s, a) * \max_{a'} Q(s', a')$$

۷. بروزرسانی ADP با استفاده از یادگیری تقویتی:

$$Q_{t+1}(s, a) = Q_t(s, a) + \alpha * [R(s, a) + \gamma * \max_{a'} Q_t(s', a') - Q_t(s, a)]$$

که در آن α نرخ یادگیری است.

۸. تقریب تابع ارزش با استفاده از شبکه عصبی:

$$V(s) \approx NN_{\theta}(s)$$

که در آن NN_{θ} یک شبکه عصبی با پارامترهای θ است.

۹. بهینه‌سازی پارامترها با استفاده از گرادینت نزولی:

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \eta * \nabla_{\theta} L(\theta)$$

که در آن η نرخ یادگیری و $L(\theta)$ تابع خطا است.

۱۰. سیاست بهینه:

$$\pi^*(s) = \operatorname{argmax}_a Q(s, a)$$

۱۱. مدل‌سازی عدم قطعیت:

- ✓ استفاده از توزیع‌های احتمال برای پارامترهای مدل
- ✓ بکارگیری روش‌های مونت کارلو برای نمونه‌برداری از توزیع‌ها

۱۲. ارزیابی ریسک:

$$Risk(s, a) = \sum_i w_i * P_i(s, a) * C_i(s, a)$$

که در آن داریم:

w_i وزن اهمیت رویداد i

$P_i(s, a)$ احتمال وقوع رویداد i در حالت s و اقدام a

$C_i(s, a)$ پیامد (هزینه) رویداد i در حالت s و اقدام a

ارائه مدل ریاضی پیشرفته برای ارزیابی چند بعدی پویای زیست محیطی با تمرکز بر ریسک‌های مرتبط با تغییرات اقلیمی و بلایای طبیعی که از ترکیب برنامه‌ریزی پویای تقریبی^۱ و یادگیری تقویتی^۲ ایجاد می‌شود. نام پیشنهادی برای این مدل:

"ECODYN-RL": (Environmental and Climate Optimization using Dynamic Reinforcement Learning)

دلایل انتخاب این نام:

۱. "ECO" اشاره به جنبه‌های زیست محیطی (Ecological) مدل دارد.
 ۲. "DYN" نشان‌دهنده ماهیت پویای (Dynamic) مدل است.
 ۳. "RL" به استفاده از یادگیری تقویتی (Reinforcement Learning) اشاره می‌کند.
 ۴. این نام کوتاه و به یادماندنی است و به راحتی ماهیت و هدف مدل را منتقل می‌کند.
 ۵. ترکیب "ECODYN" می‌تواند تداعی‌کننده "Eco-Dynamics" باشد که به پویایی‌های زیست محیطی اشاره دارد.
- این نام نشان می‌دهد که مدل "ECODYN" یک رویکرد پیشرفته و پویا برای بهینه‌سازی تصمیمات زیست محیطی و اقلیمی با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین پیشرفته است.
- شرح ساختار بدنه مدل به صورت زیر خواهد بود:

۱. تعریف فضای حالت و اقدامات:

S فضای حالت (شامل متغیرهای زیست محیطی، اقلیمی و اقتصادی)
 A فضای اقدامات (شامل سیاست‌های زیست محیطی و اقدامات کاهش ریسک)

۲. تابع انتقال حالت:

$P(s' | s, a)$ احتمال انتقال از حالت s به s' با انجام اقدام a

۳. تابع پاداش:

$R(s, a)$ پاداش (یا هزینه) ناشی از انجام اقدام a در حالت s

¹ ADP: Approximate Dynamic Programming

² RL: Reinforcement Learning

۱۳. بهینه‌سازی چند هدفه:

$$\text{Maximize: } [E[V(s)], -\text{Risk}(s, a), \text{Environmental_Quality}(s, a)]$$

۱۴. یادگیری انتقالی برای سازگاری با شرایط جدید:

$$Q_new(s, a) = \beta * Q_old(s, a) + (1 - \beta) * Q_learned(s, a)$$

که در آن β فاکتور وزن‌دهی برای ترکیب دانش قبلی و جدید است.

۱۵. به‌روزرسانی مداوم مدل:

- ✓ جمع‌آوری داده‌های جدید در طول زمان
- ✓ بازآموزی مدل با استفاده از داده‌های جدید
- ✓ تنظیم پارامترها و فرضیات مدل بر اساس بازخورد و نتایج واقعی

این مدل ریاضی جامع و پیشرفته، قادر به در نظر گرفتن پویایی‌های پیچیده سیستم‌های زیست محیطی، عدم قطعیت‌ها، و تعاملات بین عوامل مختلف است.

با استفاده از ترکیب ADP و یادگیری تقویتی، مدل می‌تواند به طور مداوم یاد بگیرد و خود را با شرایط متغیر تطبیق دهد.

این رویکرد امکان تصمیم‌گیری بهینه در مواجهه با ریسک‌های مرتبط با تغییرات اقلیمی و بلایای طبیعی را فراهم می‌کند و می‌تواند به عنوان یک ابزار قدرتمند برای برنامه‌ریزی استراتژیک محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد.

شرح نحوه پیاده‌سازی این مدل را به صورت گام به گام:

✓ جمع‌آوری و پیش‌پردازش داده‌ها:

- ✓ داده‌های زیست محیطی، اقلیمی و اقتصادی را از منابع مختلف جمع‌آوری می‌کنیم.
- ✓ داده‌ها را نرمال‌سازی و استانداردسازی می‌کنیم.
- ✓ داده‌های مفقود را با روش‌های مناسب مانند میانگین‌گیری یا درون‌یابی تکمیل و پُر می‌نمائیم.

✓ تعریف فضای حالت و اقدامات:

- ✓ متغیرهای حالت را مشخص کنید (مثلاً دما، سطح آلودگی، تنوع زیستی).
- ✓ اقدامات ممکن را تعریف کنید (مثلاً سیاست‌های کاهش انتشار، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر).

شرح تابع فضای حالت و اقدامات در ۲ مرحله

۱. فضای حالت:

فضای حالت شامل تمام حالت‌های ممکن سیستم است.

در زمینه تغییرات اقلیمی و مدیریت ریسک، این فضا می‌تواند شامل عناصر زیر باشد:

- ✓ شرایط آب و هوایی فعلی (دما، بارش، سطح دریا و ...)
- ✓ وضعیت زیرساخت‌ها (مقاومت در برابر سیل، مقاومت در برابر طوفان و ...)
- ✓ شاخص‌های اقتصادی (تولید ناخالص داخلی، نرخ بیکاری و ...)
- ✓ شاخص‌های اجتماعی (جمعیت، توزیع سنی و ...)
- ✓ شاخص‌های زیست محیطی (میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، تنوع زیستی و ...)

۲. فضای اقدامات:

فضای اقدامات شامل تمام اقدامات ممکن است که می‌توان برای مدیریت ریسک و سازگاری با تغییرات اقلیمی انجام داد.

این اقدامات می‌توانند شامل موارد زیر باشند:

- ✓ اقدامات کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای
- ✓ ساخت زیرساخت‌های مقاوم در برابر تغییرات اقلیمی
- ✓ اجرای سیاست‌های حفاظت از محیط زیست
- ✓ سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر
- ✓ آموزش و آگاهی‌رسانی به جامعه

شرح اقدامات سایر مراحل

طراحی و پیاده‌سازی شبکه عصبی:

- ✓ از یک کتابخانه یادگیری ماشین مانند TensorFlow یا PyTorch استفاده می‌کنیم.
- ✓ یک شبکه عصبی عمیق با لایه‌های مخفی کافی طراحی می‌کنیم.
- ✓ از تابع فعال‌سازی مناسب مانند ReLU استفاده می‌کنیم.

پیاده سازی الگوریتم ADP و یادگیری تقویتی:

- ✓ الگوریتم کیو لرنینگ^۳ را با استفاده از شبکه عصبی به عنوان تقریب زننده تابع پیاده سازی می کنیم.
- ✓ از تکنیک های بهینه سازی مانند آدام^۴ یا RMSprop برای به روز رسانی وزن های شبکه استفاده می کنیم.

شبیه سازی محیط:

- ✓ یک محیط شبیه سازی شده ایجاد می کنیم که دینامیک های سیستم زیست محیطی را تقلید کند.
- ✓ از مدل های اقلیمی و زیست محیطی موجود برای واقعی تر کردن شبیه سازی استفاده می کنیم.

آموزش مدل:

- ✓ مدل را با استفاده از داده های تاریخی و شبیه سازی شده آموزش می دهیم.
- ✓ از تکنیک های مانند تجربه مجدد^۵ برای بهبود ثبات یادگیری استفاده می کنیم.
- ✓ از شبکه هدف^۱ برای کاهش بیش برآورد در کیولرنینگ استفاده می کنیم.

پیاده سازی ارزیابی ریسک:

- ✓ توابع احتمال و پیامد را برای رویدادهای مختلف پیاده سازی می کنیم.
- ✓ از روش های مونت کارلو برای نمونه برداری از توزیع های احتمال استفاده می کنیم.

بهینه سازی چند هدفه:

- ✓ از الگوریتم های بهینه سازی چند هدفه مانند NSGA-II استفاده می کنیم.
- ✓ مرز پارتو را برای اهداف مختلف (مثلاً ماکزیمم کردن ارزش مورد انتظار، مینیمم کردن ریسک) محاسبه می کنیم.

پیاده سازی یادگیری انتقالی:

- ✓ مکانیزمی برای ذخیره و بازیابی دانش قبلی ایجاد می نمائیم.
- ✓ الگوریتمی برای ترکیب دانش قدیمی و جدید پیاده سازی می کنیم.

ایجاد رابط کاربری:

- ✓ یک داشبورد تعاملی برای نمایش نتایج و تصمیم گیری ایجاد می کنیم.
- ✓ امکان تنظیم پارامترها و مشاهده سناریوهای مختلف را فراهم می کنیم.

تست و اعتبارسنجی:

- ✓ مدل را با داده های واقعی تست می کنیم.
- ✓ از تکنیک های اعتبارسنجی متقابل برای ارزیابی عملکرد مدل استفاده می نمائیم.

بهینه سازی و مقیاس پذیری:

- ✓ کد را برای اجرای موازی بهینه می کنیم.
- ✓ از تکنیک های محاسبات توزیع شده برای مقیاس پذیری بیشتر استفاده می کنیم.

مستند سازی و آموزش:

- ✓ مستندات کاملی برای کد و نحوه استفاده از مدل تهیه می کنیم.
- ✓ دوره های آموزشی برای کاربران نهایی برگزار می کنیم.

همچنین پیشنهاداتی برای بهینه سازی کدهای مدل ارائه می گردد که شامل موارد زیر می باشد:

۱. تعریف دقیق تر حالت ها با استفاده از کلاس های جدید
۲. تعریف اقدامات به عنوان توابع
۳. ایجاد یک تابع انتقال حالت برای مدل سازی تأثیر اقدامات
۴. استفاده از الگوریتم های بهینه سازی برای یافتن بهترین اقدامات
۵. بهبود ارزیابی ریسک و آسیب پذیری

این پیشنهادات به منظور بهبود قابلیت های مدل و تحلیل سناریوهای پیچیده تر مرتبط با تغییرات اقلیمی و مدیریت ریسک ارائه شده اند. با اجرای این تغییرات، مدل ما می تواند به طور دقیق تری فضای حالت و اقدامات را نمایش دهد و تحلیل های پیشرفته تری انجام دهد.

نگارنده: **نازیلا سپهرکیا**

^۵ Experience Replay

^۶ Target Network

^۳ Q-learning

^۴ Adam