

Solar Intelligence System (SIS) v2.0: Будущее анализа солнечных магнитных полей

AI-First архитектура для высокоточного исследования солнечной активности на данных миссии Hinode. Короткое введение в концепцию: интеллектуальная диспетчеризация данных спектрополяриметрии, экономия вычислительных ресурсов и повышение точности инверсий.

Проблема: ограничения существующих методов

Гетерогенность данных

Чистые физические сигналы смешаны с шумом и артефактами: сложность выделения достоверных профилей Stokes V.

Вычислительные потери

Традиционные алгоритмы тратят значительные ресурсы на обработку шумных пикселей, замедляя обработку больших наборов данных.

Потеря искажённых данных

Аномальные профили часто игнорируются или неверно классифицируются, что ведёт к потере научно значимой информации.

Решение: AI-First архитектура

Переход от постобработки к интеллектуальной диспетчеризации – SIS располагает ИИ-модулем в ядре, который определяет путь обработки для каждого пикселя до запуска тяжёлых физических вычислений.

01

Оценка сигнала

Предварительная классификация профиля и оценка B-field guess мгновенно определяют необходимость инверсий.

02

Маршрутизация вычислений

Система направляет пиксель к наиболее подходящему физическому методу (Sigma-V, WFA, МСМС и т.д.).

03

Архивация и анализ аномалий

Аномалии автоматически сохраняются для глубокого научного разбора и последующей модели обнаружения редких событий.

Технология ИИ: SIS Dispatcher



Ансамбли Random Forest

Надёжные ансамблевые модели для классификации (Clear / Noisy / Anomaly) и регрессии (оценка B-field). Устойчивы к выбросам и быстры в предсказании.



Моментальные оценки

Регрессор даёт предварительную оценку магнитной напряжённости за миллисекунды, позволяя экономить время при выборе метода инверсии.



12-мерный вектор признаков

Комбинация моментов формы линии, асимметрий и шумовых характеристик для чёткой дискриминации типов профилей

Интеллектуальная маршрутизация: как принимается решение

1

Clear → Sigma-V

Высокоточная физическая инверсия для явно разделённых профилей (Zeeman splitting).
(прил.1)

2

Noisy → WFA / MCMC

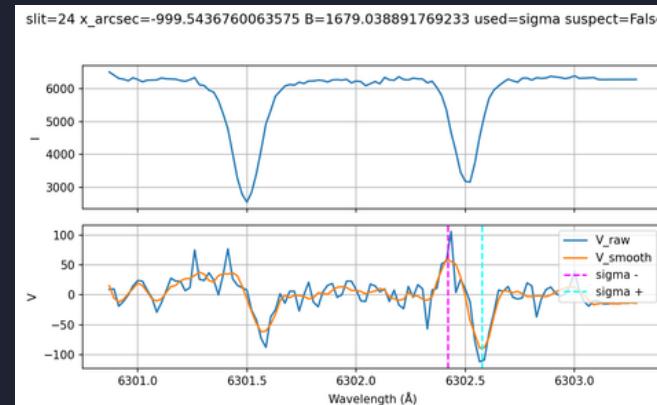
Быстрое приближение слабого поля (WFA) или статистическая оценка с помощью Monte-Carlo (500 итераций) при повышенной неопределённости.

3

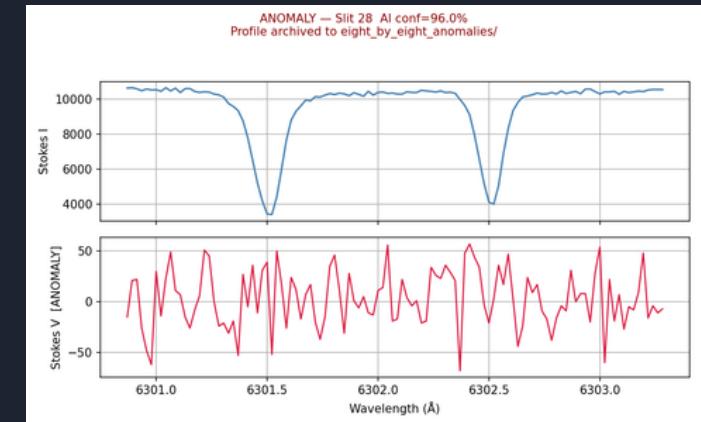
Anomaly → Архив

Выделение для ручной проверки и для обучения будущих моделей обнаружения редких явлений.
(прил.2)

Маршрутизация учитывает: предварительную оценку В, метрики качества профиля, локальный контекст пикселей и вычислительные бюджеты. Это даёт оптимальный баланс между скоростью и точностью.



Приложение 1. Визуализация работы метода Sigma-V



Приложение 2. Визуализация отчета Anomaly

Физические методы и контроль точности

Лайн-пары Fe I 6301.5 Å /
6302.5 Å

Классические диагностические
линии для оценки векторного
магнитного поля в фотосфере.

Двухэтапная калибровка
Калибровка длины волны:
первоначальная подгонка +
финальная точная корректировка
по спектральному атласу.

Оценка погрешностей
Квантование неопределённостей
через Monte-Carlo: числовые
интервалы доверия для каждого
инверсного решения.

Анализ рынка и прикладные сценарии



Приложение 3. Модель TAM/SAM/SOM в сфере Космоса

SpaceX to lose up to 40 Starlink satellites after geomagnetic storm

Elon Musk's firm says 80% of the satellites it launched last week are expected to burn up instead of reaching orbit



A SpaceX rocket carrying 49 Starlink satellites heads skyward after launching at the Kennedy Space Center, Florida. Photograph: Paul Hennessy/NurPhoto/Rex/Shutterstock

Приложение 4. Потеря 40 спутников из за геомагнитной бури

В Приложении 3 представлена воронка целевого рынка (модель TAM/SAM/SOM), которая подтверждает масштаб нашего проекта:

- TAM: Весь космос (\$770B)
- SAM: Аналитика и Данные (\$12B)
- SOM: Наша доля в AI-мониторинге (\$500M)

В приложении 4 Кейс Starlink: Убыток \$100 млн+ из-за одной солнечной бури. Наше решение предотвращает подобные катастрофы.

Источники: McKinsey (2024), Fortune Business Insights (2024), Grand View Research.

Конкурентные преимущества SIS v2.0

Автономное обучение

Модели адаптируются «на лету» к текущему набору наблюдений без зависимости от крупных размеченных наборов.

Высокая скорость

Обучение на 250 образцах занимает **менее 3 секунд**, предсказания выполняются в миллисекунды.

Интеллектуальные отчёты

Слой LLM (Layer 2) генерирует автоматические научные сводки и диагностические заметки для учёных.

Бизнес-модель и масштабируемость

Открытый код и модульная архитектура облегчают внедрение в научные центры и коммерческие решения. Поставка как готового пайплайна с экспортом результатов в CSV и набор диагностических графиков.

- Реализация: Python 3.9+, scikit-learn, astropy, scipy
- Деплой: локально, кластерно или в облаке

Масштабирование на новые инструменты и телескопы: адаптивные конвертеры форматов данных и модуль расширения инструмент-специфичных калибровок.

1. Поддержка новых спектральных линий
2. Интеграция с наземными обсерваториями
3. Пакет SDK для разработчиков

Оценка погрешности результатов

Сравнение полученных результатов с Hinode Level 2.

Параметр	Значения	Отчет
Коэффициент корреляции	0,2631	Низкая корреляция. Дает численные значения, которые отличаются от магнитограммы.
Средняя аbs. разница	597,56 Гаусс	Высокая погрешность.
Макс. Поле (Наш результат)	2396,36 Гаусс	Ключевой результат.
Макс. Поле (Магнитограмма Hinode)	2723,49 Гаусс	Ключевой результат.

В ходе сравнения мы выяснили, что наш метод слеп к слабым полям, НО: Он отлично справляется с поставленной задачей, в нахождении максимальных магнитных полей.

Команда, дорожная карта и миссия



Команда

Состав: астрофизики,
инженеры-данных – синергия
знаний для интерпретации
термодинамики Солнца.



Планы

Интеграция AI-учёного для синтеза
популяционных отчётов;
расширение на новые миссии и
автоматизация публикаций.



Миссия

«Открываем мир науки» –
обеспечивая быстрое решение,
предлагая предварительную
обработку данных
спектрополяриметрии перед полной
инверсии Стокса.

- ☐ Ключевой вывод: SIS v2.0 сочетает проверенные физические методы с интеллектуальной маршрутизацией на базе ИИ, обеспечивая экономию ресурсов и повышение научной ценности данных.