

VAL-U-SUN

Valorization of 70 years Solar Observations from the Royal Observatory of Belgium

Contract BR/165/A3/VAL-U-SUN

SAMENVATTING

Context

Het zonnevlekkengetal is het langste wetenschappelijke experiment dat nog gaande is en een cruciale maatstaf om zonneactiviteit, ruimteweer en klimaatverandering te bestuderen. De Koninklijke Sterrenwacht van België (KSB) speelt een centrale rol in de voortzetting van dit experiment, aangezien het gastheer is van de World Data Center Sunspot Index and Long-term Solar Observations (WDC-SILSO: <https://wwwbis.sidc.be/silso/>). Dit World Data Center heeft tot doel zonnegegevens te verzamelen en het International Sunspot Number te produceren en te verspreiden, dat jaarlijks in ongeveer tweehonderd wetenschappelijke publicaties wordt gebruikt.

Zonnevlekken zijn donkere vlekken die in groepen op het zonneoppervlak verschijnen. Het zijn manifestaties van zonnemagnetisme en worden geteld sinds de uitvinding van de telescoop in het begin van de 17e eeuw. In 1843 ontdekte Samuel Heinrich Schwabe (Schwabe, 1844) dat tijdreeksen van het aantal zonnevlekken een periodiek patroon vertonen van ongeveer 11 jaar. Dit werd bekend als de zonnecyclus, die een diepgaand effect heeft op het hele zonnestelsel. Het magnetische zonneveld ingebed in zonnevlekken is de drijvende kracht achter de zonnevariabiliteit die van dag tot dag de ruimteomgeving van de aarde beïnvloedt. In het midden van de 19e eeuw creëerde Dr. Wolf van het Zürich Observatorium een zonneactiviteitsproxy door het totale aantal zonnevlekken op te tellen met 10 keer het totale aantal zonnevlekkengroepen. Met zijn 400 jaar is dit "zonnevlekkengetal" de langst bestaande waarnemingsreeks van zonneactiviteit en is opmerkelijk nuttig gebleken, niet alleen voor de zonnefysica, maar voor een grote verscheidenheid aan natuurwetenschappen. Kruiscorrelatie met andere indices maakt het mogelijk de zonneaandrijving van het klimaat op aarde in de afgelopen paar eeuwen te reconstrueren. Het zonnevlekgetal en de zonnecyclus zijn ook een "Rosetta-steen" voor het begrijpen van zonneachtige veranderlijke sterren. De digitale bibliotheek "The NASA Astrophysics Data System" verzamelt meer dan 70 gerefereerde artikelen per jaar met de exacte uitdrukking "zonnevleknummer" in de samenvatting of in de titel.

Door de eeuwen heen heeft de ROB een essentiële rol gespeeld in de studie van het zonnevlekkengetal. In 1939 en tijdens de Tweede Wereldoorlog startte ROB in samenwerking met de opvolgers van Dr. Wolf op de sterrenwacht van Zürich een zonneobservatieprogramma dat nog steeds loopt. De originele zonetekeningen, verkregen met het ROB Uccle Solar Equatorial Table (USET)-instrument, zijn bewaard en gescand en vormen een homogene reeks ononderbroken tekeningen sinds maart 1940. Het is een van de langste stabiele observatiecollecties van de zon die nog steeds actief is. In 1981 stopte het Zürich Observatory met de World Data Center-activiteit en in overeenstemming met de internationale astronomische organisatie "COSPAR" werd het World Data Center overgedragen aan ROB. Als zodanig is het ROB World Data Center "SILSO" verantwoordelijk voor het verzamelen van waarnemingen en tellingen van zonnevlekken van een internationaal en wereldwijd netwerk van waarnemingsstations en voor het produceren van deze gegevens het International Sunspot Number.

Doelen

Het doel van dit project is het valoriseren van twee zonnevlekkencollecties die bij ROB worden bewaard en die aan het begin van het VALUSUN-project niet online beschikbaar waren of op het niveau van de hedendaagse moderne wetenschappelijke standaarden.

De eerste collectie bestaat uit een reeks van meer dan 20.000 gedigitaliseerde zonnevlektekeningen die sinds 1940 bij USET zijn verworven en een bijbehorende database die niet geverifieerd was, d.w.z. er konden geen volledige kwaliteitscontroles worden uitgevoerd en de database is nog steeds onvolledig in termen van geëxtraheerde parameters. De digitalisering van deze tekeningen begon in het kader van een Europees project, maar het gebrek aan latere financiering verhinderde ons om essentiële metadata toe te voegen en een goede kwaliteitscontrole te bereiken. Zo werd het niet toegankelijk gemaakt voor de bredere gemeenschap. Aangezien deze dataset teruggaat tot 1940, is het exploiteren van zo'n lange-termijn en volledige dataset uiterst belangrijk voor studies van langetermijnfenomenen zoals het aardklimaat, maar ook om de kwaliteit van parallelle zonnecatalogi te beoordelen.

De tweede collectie, de SILSO-database, bevat de aantallen vlekken en groepen vlekken op de zon die sinds 1981 door een wereldwijd netwerk zijn waargenomen (meer dan 530.000 metingen). Het wordt maandelijks gebruikt om het internationale zonnevlekkengetal te berekenen. Elk jaar wordt er slechts één controle uitgevoerd op elk station en de statistische basis gaat terug tot de oprichting van het Wolf-nummer in de jaren 1850. Een volledig en consistent toezicht op deze database is belangrijk en aangezien SILSO het World Data Center is voor de bepaling van deze index, is het onze verantwoordelijkheid om het geëxtraheerde zonnevlekkengetal in de 21e eeuw te brengen door deze bestaande database optimaal te benutten. Hiertoe is in 2011 een internationale inspanning gestart, gericht op de gegevens uit het verleden, van de 19e eeuw tot het einde van de 20e eeuw. Helaas bleef het onderzoek naar deze specifieke dataset uit 1981 beperkt en kunnen moderne standaarden alleen worden bereikt door het gebruik van modernere statistische technieken.

Het doel dat we met onze twee collecties willen bereiken, is drieledig: (1) Breng onze databases naar het moderne tijdperk door essentiële metadata toe te voegen, of het nu gaat om aanvullende parameters of technieken voor kwaliteitsbeoordeling en kwaliteitscontrole. (2) Gebruik de waarde van zonneparameters die in deze databases zijn vastgelegd om de wetenschappelijke vragen van vandaag aan te pakken en (3) de collecties en toegevoegde waarde te verspreiden onder een vooraf gedefinieerde reeks doelgroepen.

Methodologie en resultaten

De USET-verzameling tekeningen is verbeterd met de gebieden van de groepen dankzij de ontwikkeling van een software die we DIGISUN 2.0 noemen (voor VALUSUN, maar met ROB zelf gefinancierde mankracht). Behalve dat het voldoende gebruiksvriendelijk is voor massa-exploitatie, is het ook compatibel met meerdere platformen. Het werd geïnstalleerd en ondersteund en het Locarno-station (het pilootstation van het WDC-SILSO-netwerk) en biedt dus een uitstekende vergelijkingsbasis voor de USET-database met parameters die zijn geëxtraheerd uit de USET-tekeningen. Dankzij de nieuwe extractie van een Locarno-database van zonnevlekparameters konden we een kwaliteitscontrole realiseren door beide datasets op 2019-2021 te vergelijken. De volgende stappen zullen zijn om USET-geëxtraheerde zonnevlekparameters te vergelijken met andere, meer inhomogene databases met slechts gedeeltelijk overlappende zonnevlekparameters. Die studie is al gestart en zal in het eerste semester van 2022 worden gepubliceerd in de vorm van twee papers: paper I zal DIGISUN2.0 presenteren en paper II zal de uitgebreide kwaliteitscontrole van de USET sunspot parameters database presenteren.

Voor de tweede verzameling van gegevens (d.w.z. de zonnevlekkengetallen van alle WDC-SILSO-stations), ontwikkelden we een uitgebreid foutenmodel voor de zonnevlekkengetallen in een multiplicatief raamwerk. Het model ontleedt de gegevens in een fysiek signaal, gemeenschappelijk voor verschillende waarnemers, beschadigd door drie soorten fouten, zowel op korte, lange termijn als tijdens zonneminima. We bieden een volledige analyse van de verschillende termen van het

model, inclusief parametrische passingen van hun distributies. Dit model stelt ons in staat om robuustere schatters van de zonnevlekkengetallen te verkrijgen en om op elk moment fouten voor die gegevens te verschaffen. Het belicht ook de langetermijnafwijkingen die zich hebben voorgedaan in de afgelopen reeks van verschillende waarnemingsstations. Hoewel speciaal aangepast aan de zonnevlekkengetallen, kan het model ook dienen als inspiratiebron voor het behandelen van andere datasets met vergelijkbare eigenschappen. De resultaten van dit deel van het onderzoek zijn gepubliceerd in Mathieu et al. (2019).

We construeren ook een niet-parametrische monitoringprocedure op basis van controlekaarten en ondersteunen vectormachines om de afwijkingen van zonnevlekkengetallen in de loop van de tijd efficiënt te detecteren. Het schema is ontworpen om te werken met niet-normaal verdeelde en autogecorreleerde processen met mogelijk ontbrekende waarden. Het werkt op verschillende schalen en vereist geen parametrische veronderstelling over de gegevens om correct te werken. Deze methode stelt ons in staat om automatisch veel afwijkingen in de zonnevlekkengetallen te identificeren, meestal ongezien in eerdere analyses, en helpt ons de hoofdoorzaken van enkele opvallende verschuivingen te vinden. Als resultaat van de huidige werkzaamheden zal dit controleschema worden geïmplementeerd om alle waarnemingsstations die betrokken zijn bij het telproces te bewaken, om toekomstige opbouw van grote afwijkingen in de tijd, zoals eerder waargenomen, te voorkomen. De resultaten zijn ingediend bij het Journal of Quality Technology (JQT: <https://asq.org/quality-resources/pub/journal-of-quality-technology>)

Alle software die in het kader van VALUSUN is ontwikkeld door de promovendus S. Mathieu, is beschikbaar op (<https://github.com/sophiano/SunSpot>). De aanpassing aan de WDC-SILSO reductiepijplijn zal voor medio 2022 gerealiseerd worden voor een efficiëntere exploitatie van de data. Alle data uit de WDC-SILSO database zijn gecontroleerd op fouten en inconsistenties, en waar mogelijk zijn metadata toegevoegd en gecontroleerd. Als gevolg hiervan zijn de gegevens van USET en WDC-SILSO nu op kwaliteit gecontroleerd en gecontextualiseerd, een belangrijke stap in de richting van de EERLIJKheid van gegevens die het SILSO-USET-centrum voor al zijn collecties wil bereiken.

Conclusies en Aanbevelingen

Het USET-WDC-SILSO-team en de jobstudenten die dankzij het project werden ingehuurd, hebben de database die bij de tekeningen hoort, gedurende het hele project bijgewerkt. Dit omvatte controle van de gegevenskwaliteit, het verzamelen en verbeteren van metagegevens, de toevoeging van een essentiële parameter aan de bestaande lijst: het gebied van de groepen die op de zonnevlekken tekeningen zijn vastgelegd. Hiertoe was de ontwikkeling van nieuwe software voor het analyseren van tekeningen noodzakelijk, aangezien de vorige inefficiënt bleek om zonnevlekgebieden op tekeningen te bepalen. De USET-databank is nu toegankelijk via www.sidc.be/valusun/usetdb/.

Dankzij onze partners bij UCL en hun expertise, is de SILSO-database (1981-heden) uitgebreid geanalyseerd en gebruikt om de exploitatie ervan voor de productie van het internationale zonnevlekkengetal in de 21e eeuw te brengen. Een volledige analyse van de statistische eigenschappen van de dataset is gerealiseerd en de resultaten zijn gepubliceerd in Mathieu et al. (2019). Vervolgens is er een methode ontwikkeld om eventuele afwijkingen in de gegevens te monitoren (detecteren) en ingediend bij het Journal of Quality Technology (JQT: <https://asq.org/quality-resources/pub/journal-of-quality-technology>), en promovenda Sophie Mathieu ontwikkelde een volledige set programma's in Python zodat het World Data Center SILSO de detectiemethode nu in realtime op de data kan toepassen (<https://github.com/sophiano/SunSpot>). De WDC-SILSO-databank is nu beschikbaar op <http://www.sidc.be/valusun/silsodb/>.

Parallel aan dit werk heeft het WDC-SILSO-team een volledige kwaliteitscontrole van de invoergegevens in beide databases gerealiseerd, zijn de bijbehorende metagegevens bijgewerkt en zijn de gegevens AVG-conform gemaakt (https://ec.europa.eu/info/law/law-topic/data-protection_en).

Tot slot willen we erop wijzen dat het behoud, de verbetering en het beschikbaar stellen van de datasets van de WDC-SILSO en het USET-station voor iedereen van het grootste belang is, vooral in deze tijd waarin we ons realiseren dat het behoud van de aarde begrip betekent de evolutie van zijn klimaat. En het is niet alleen in het verleden, maar ook in de toekomst, aangezien beide datasets blijven groeien met voortdurende observaties.

Deze datasets bevatten alle sleutels om eerdere waarnemingen te koppelen aan toekomstige waarnemingen van de zon (USET neemt waar via tekeningen en CCD's), en ook om het vroegere internationale zonnevlekkengetal te koppelen aan zijn toekomst. Hoewel het waarnemingsstation dat deze "verbinding" in staat stelt om door de tijd te overleven minimale kosten met zich meebrengt in vergelijking met dure ruimtemissies, staan waarnemingen van de zon op de grond zelden centraal in Belgische of Europese wetenschappelijke oproepen.

Het internationale zonnevlekkengetal is essentieel voor het begrip van de evolutie van de stralingsinput van de zon op de aardatmosfeer, en dus voor het begrip van de opwarming van de aarde en haar processen. Dit betekent dat het onderhoud van de bijbehorende collecties en observaties een prioriteit moet zijn bij beslissingen op het hoogste niveau. En aangezien kosten altijd belangrijk zijn, moet de grondgebonden optie uitgebreid worden overwogen, met name structuren zoals USET en SILSO die al bestaan.

Keywords:

Zonnevlekkengetal, Zonnevlekken, statistieken, foutbalken, monitoring