Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft

Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft

Band: 63 (2005)

Heft: 328

Artikel: ETH Zürich entwickelt bahnbrechendes, digitales FFT-Radiospektrometer

Autor: Monstein, Christian

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-897760

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

ETH Zürich entwickelt bahnbrechendes, digitales FFT-Radiospektrometer

CHRISTIAN MONSTEIN

In weniger als 3000 Stunden Entwicklungszeit hat das Astronomische Institut der ETH Zürich in enger Zusammenarbeit mit der FHS (Fachhochschule Solothurn), dem ZMA (Zentrum für Mikroelektronik Aarau) und der Firma ACQIRIS in Genf ein modernes FFT-Radiospektrometer entwickelt. FFT steht hier für **F**ast **F**ourier **T**ransformation. Die Fourier-Transformation selbst bezeichnet eine physikalisch-mathematische Methode, erfunden vom Franzosen JEAN BAPTISTE JOSEPH FOURIER. FOURIER wurde 1768 in Auxerre geboren und starb 1830 in Paris. Seine Methoden kommen heute dank hoch integrierter Elektronik-Bausteinen und moderner Software vermehrt zum Einsatz. Die «Fast»-Version der Fourier-Transformation geht dabei zurück auf die Mathematiker COOLEY und TUKEY (1965). Die FFT erlaubt es, aus einer diskret abgetasteten Zeitserie eines beliebigen Signals mit mathematischen Mitteln ein hoch aufgelöstes Frequenzspektrum zu erzeugen. Das ist genau das, was Astronomen und Umweltphysiker heute mehr denn je benötigen. Es geht dabei darum, aus einem stark verrauschten Hochfrequenzsignal die monochromatischen Anteile, in unserem Fall die Spektrallinien von Atomen, Molekülen oder Ionen, herauszufischen und zu integrieren. Bei unserem Spektrometer wird das von der Antenne kommende hochfrequente Signal im Empfänger zuerst auf eine tiefe Zwischenfrequenz von z.B. 500MHz heruntergemischt (Heterodynprinzip), verstärkt und dann einem Analog-Digital-Wandler zugeführt. Der Analog-Digital-Wandler ist Bestandteil einer kommerziell erhältlichen Elektronikplatine (Abbildung 2) und verarbeitet 2 Gs/sec (2 Milliarden Wandlungen pro Sekunde), dies bei einer Datenbreite von 8 Bit. Es werden also insgesamt 16 Megabit Daten pro Sekunde erzeugt und auch ausgewertet. Die Auswertung geschieht in einem Hochintegrierten Chip, einem FPGA (**F**ield **P**rogrammable **G**ate **A**rray). In diesem FPGA werden die Daten zuerst in eine komplexe Gleitkommazahl umgewandelt und dann gleichzeitig in zwei «pipelines» eingespeist. Diese «pipelines» wiederum bestehen aus so genannten «Butterfly»-Strukturen, in denen die eigentliche Transformation stattfindet. Wir wollen an dieser Stelle nicht weiter in die Tiefen der Hard- und Software abtauchen, Interessenten finden durchaus passende Antworten unter folgender Adresse:
http://www.astro.phys.ethz.ch/instrument/argos/argos_nf.html

Am Ende dieser Strukturen werden die vorerst komplexen Spektren quadratisch addiert und bilden so das gewünschte Leistungs-Spektrum. Um die Empfindlichkeit zu steigern, werden diese Leistungsspektren in einem Speicher aufaddiert. Diese Addition oder Integration führt dazu, dass einerseits statistische Störungen (Rauschen) gemäss der Radiometergleichung mit $\sqrt{N}$ reduziert werden, während die korrelierten Signale der interessierenden Linien sich proportional zu N erhöhen. Nach einer Integration des Empfangssignales über beispielsweise 10 Minuten vom Sternentstehungsgebiet ORION A erscheint dann die Spektrallinie (Abbildung 4) auf dem Bildschirm. Unser voll digital arbeitendes Spektrometer besitzt einige wesentliche Vorteile gegenüber traditionellen Spektrometern wie AOS (**A**cousto **O**ptical **S**pectrometer), CTS (**C**hirp **T**ransform **S**pectroemter), Korrelatoren oder Filterbanken. Das FFT-Spektrometer ist zu 100% digital, hat also weder optische Komponenten noch funktionell wichtige mechanische Teile. Es ist unempfindlich gegenüber Vibrationen oder Schock und arbeitet in einem grossen Temperaturbereich von 0°C bis +40°C. Das Gewicht von 7.8 kg ist verhältnismässig gering und das Volumen von 342 x 346 x 106 mm macht es durchaus transportabel. Die Auflösung des ADC (Analog-Digital-Konverter) beträgt 8 Bit, dies erlaubt eine maximale Eingangsdynamik von 48 dB. Dies lässt zumindest in ungestörter Umgebung sogar Basisbandmessungen zu. Die Ausgangsbitbreite beträgt 36 Bit, was geringste Strukturunterschiede in den Spektren erkennen lässt. Da, wie bereits oben erwähnt, keinerlei optischen Komponenten nötig sind sowie keine bewegten mechanischen Teile vorhanden sind, kann von einer sehr hohen Lebensdauer ausgegangen werden. Nicht zu unterschätzen ist auch die Preisgestaltung, ein komplettes FFT-Spektrometer kostet etwa 30 000 Euro (etwa die Hälfte eines vergleichbaren AOS).

Erste Messungen in Zusammenarbeit mit Doktoranden und Studenten der ETH Zürich konnten wir über Ostern 2005 auf dem Gornergrat bei Zer-

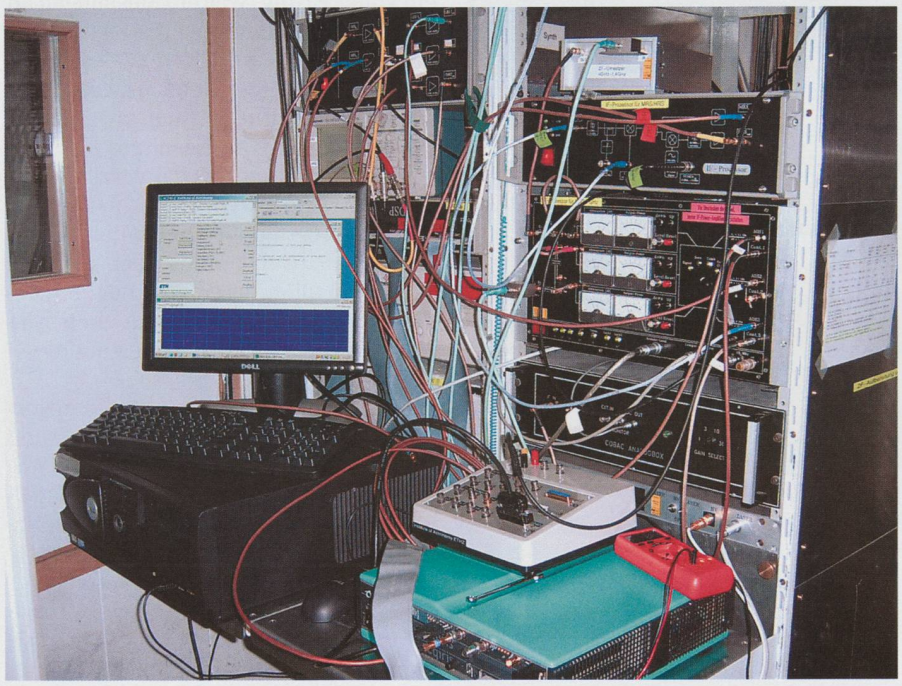

Fig. 1: ARGOS (grüne Kiste rechts unten) im Spektrometerraum des KOSMA auf dem Gornergrat bei Zermatt. Im Hintergrund die Aufbereitung der Zwischenfrequenzen und ein traditionelles AOS. Der PC links vorne steuert das Spektrometer, erledigt die Kommunikation mit dem Teleskop und beherbergt einen FTP-Server für die laufend anfallenden Spektrometer-Daten.

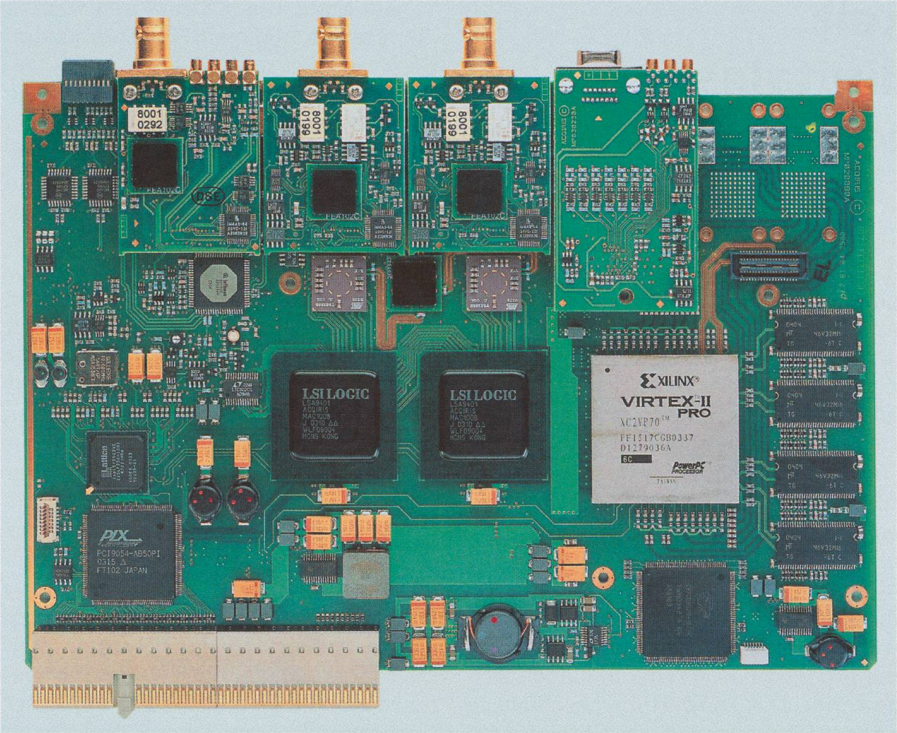

Fig. 2: Hochgeschwindigkeits-Analog-Digital-Wandler AC240 der Firma Acqiris in Genf mit aufgesetztem FPGA der Marke Virtex-II PRO. Oben links BNC-Buchse für externen Trigger, oben in der Mitte BNC-Buchsen für Analogeingänge. Unten links Stecker zum PCI-Interface.

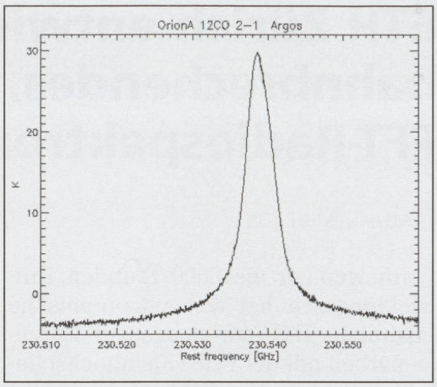

Fig. 4: Kalibriertes Linienprofil von Kohlenmonoxid ^{12}CO im Quantenübergang 2 nach 1 im Sternbild ORION aufgenommen mit ARGOS. Angezeigt wird die äquivalente Antennentemperatur in Kelvin über der Laborfrequenz in GHz (Gigahertz). Die Linienbreite und die Linienstruktur lassen Rückschlüsse zu auf Gastemperatur, Gasdruck und Geschwindigkeitsverteilung einzelner Gebiete.

Fig. 3: Observatorium KOSMA (linke Kuppel) auf dem Gornergrat bei Zermatt. Hier wurden die ersten Messungen an verschiedenen Sternentstehungsgebieten und in der Erd-Atmosphäre durchgeführt. Nur in dieser Höhe ist es möglich mit Millimeter – und Submillimeterwellen astronomisch zu beobachten. Tiefer unten stört die Erdatmosphäre bzw. deren Wasserdampfgehalt die Messungen zu stark. Die weisse Plane vor dem Kuppelspalt schützt die empfindliche Mikrowellenelektronik vor direkter Sonneneinstrahlung. Direkte Wärmestrahlung der Sonne würde die supraleitenden Mischer-Halbleiter sofort zerstören.

matt am Kölner Observatorium für Millimeter-Astronomie (KOSMA) durchführen. Während KOSMA mit ihren traditionellen Spektrometern (AOS) arbeitete, haben wir gleichzeitig die Zwischenfrequenz angezapft, uns in die Kontroll-Leitungen der Teleskop-Steuerung eingeklinkt und parallel mitgemessen (Abbildung 3). Der Draht- und Kabelverhau auf über 3000 Meter über Meer ist nicht ganz trivial zu beherrschen, aber wir haben es trotzdem geschafft. Die Resultate wahren mit einer Ausnahme alle identisch in ihrer Struktur und sind visuell nicht unterscheidbar. Die einzige Ausnahme, bei der unser Gerät allerdings deutlich besser abgeschnitten hat, war die Messung der atmosphärischen Ozon-Linie in Emission. Während das AOS durch die hohen Signalpegel übersteuerte, konnte das FFT-Spektrometer diese Linie perfekt erfassen und präsentieren. Unsere Messkampagne mit dem neuen Spektrometer auf dem Gornergrat (Abbildung 1) war also ein voller Erfolg. Weitere Messungen an anderen Instrumenten respektive Radio-Teleskopen werden derzeit geplant und in diesem Jahr noch realisiert. Wir sind zuversichtlich, auch an anderen Observatorien gute Resultate zu erzielen. Dies war nur dank der vorzüglichen Zusammenarbeit von ETH, FHS, ZMA und ACQIRIS möglich. Ich möchte mich bei dieser Gelegenheit bei meinem Team und allen Beteiligten herzlich bedanken für ihren unermüdlichen Einsatz, ein gutes Produkt zu gestalten.

Die Entwicklung wurde finanziert durch die Industrie (ACQIRIS) und durch einen KTI – Fonds (6421.2 IWS-IW). Test und Qualifikationen wurden finanziert durch den Schweizerischen Nationalfond (SNF, 2-77527-04).

CHRISTIAN MONSTEIN
ETH Zürich - Institut für Astronomie
Scheuchzerstrasse 7, CH-8092 Zürich