Développement d'un micro-ordinateur pour nanosatellites

Autor(en): **Masson, Louis / Gass, Volker / Ivanov, Anton**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **105 (2014)**

Heft 10

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-856305

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

TECHNOLOGIE **HARDWARE**

Développement d'un micro-ordinateur pour nanosatellites

Un ordinateur de bord miniature robuste et efficient pour CubETH

La miniaturisation de l'électronique de bord d'un satellite devient d'autant plus indispensable que le standard CubeSat, soit un cube d'un volume de 1 l et d'une masse n'excédant pas 1,33 kg, prend de l'importance dans le domaine du spatial. Développer des systèmes de navigation plus complexes exige donc de réduire la taille et la consommation énergétique des ordinateurs de bord. Un micro-ordinateur alliant robustesse, puissance et fiabilité est actuellement en cours de réalisation au Swiss Space Center dans le cadre du projet de nano-satellite suisse CubETH.

Louis Masson, Volker Gass, Anton Ivanov

Suite au succès du premier satellite suisse lancé en 2008, SwissCube, le Swiss Space Center (SSC) situé à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) s'est investi dans un nouveau projet de satellite suisse: CubETH. Ce projet, actuellement en cours, est le fruit d'une collaboration des écoles d'ingénierie fédérales (domaine EPF/ETH) et cantonales (domaine FH/HES), ainsi que de partenaires industriels.

L'objectif consiste à réaliser un nano-satellite dont les dimensions et la masse correspondent au standard CubeSat défini par l'Université polytechnique de Californie et l'Université de Stanford, soit un cube d'un volume de 1 l et d'une masse n'excédant pas 1,33 kg, tout en disposant de fonctionnalités avancées dans le domaine des mesures de positionnement et d'orientation une fois en orbite. Ceci nécessite le développement et l'intégration de systèmes de navigation plus complexes, donc plus volumineux et plus gourmands en énergie et, par conséquent, d'un ordinateur de bord plus petit et plus efficient. Cet article présente le développement du micro-ordinateur de CubETH réalisé au SSC.

Choix du format CubeSat

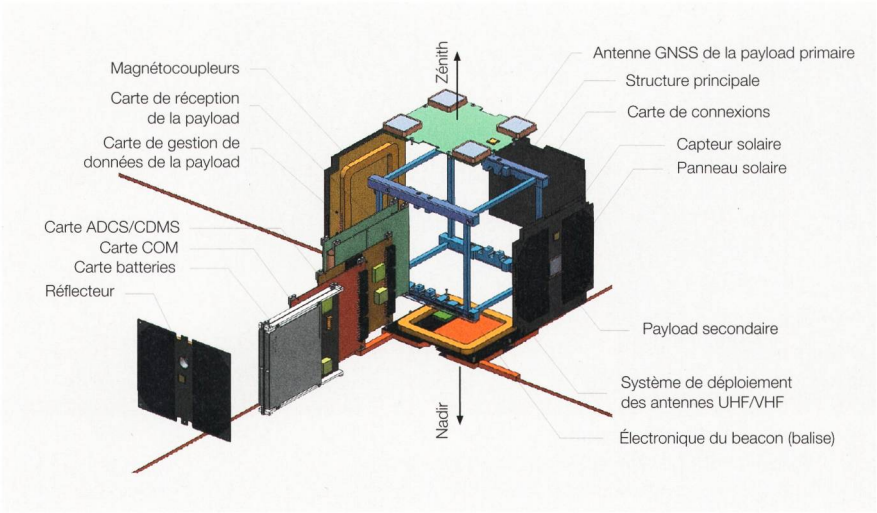
L'utilisation du format CubeSat est notamment motivée par la réduction des coûts de production et de mise en orbite du satellite, tout en permettant de garder une fonctionnalité et une robustesse suffisantes pour le bon déroulement de la mission. Dans cette optique, les composants électroniques utilisés pour le satellite sont des composants COTS (commercial off-the-shelf), autrement dit des composants commerciaux qui peuvent être obtenus sur le marché.

L'un des challenges du développement d'un ordinateur de bord pour un satellite de si petite taille consiste à réaliser un système complexe à partir de ces composants bon marché qui soit capable de résister aux conditions extrêmes auxquelles sont confrontés les satellites en orbite terrestre basse, soit des doses de radiations élevées, le vide et de fortes variations de température, ainsi que de se remettre rapidement d'une erreur critique.

La mission scientifique de CubETH

L'objectif du projet CubETH est de fournir une fois en orbite des fonctionnalités de mesures précises de positionnement, ainsi que de détermination d'attitude en utilisant des capteurs GNSS (global navigation satellite system). Le satellite embarque 6 capteurs GNSS commerciaux, ce qui permet d'avoir une redondance sur ces composants et de déterminer son attitude, c'est-à-dire son orientation, en fonction de la position mesurée par chacun des capteurs, pour autant que la mesure soit suffisamment précise. La réalisation de ces objectifs validerait l'utilisation de ces capteurs commerciaux pour les satellites de ce format et permettrait ainsi d'en perfectionner les systèmes de navigation et de contrôle d'attitude.

CubETH se verra aussi octroyé un système de contrôle et de détermination d'attitude avancé, permettant de contrôler l'orientation du satellite sur 2 axes principaux en utilisant exclusivement



Swiss Space Center / EPFL

Figure 1 Vue éclatée du satellite CubETH.

TECHNOLOGIE **HARDWARE**

des magnétocoupleurs (magnetorquers). Ces actionneurs sont constitués d'une bobine qui interagit avec le champ magnétique terrestre lorsqu'un courant la traverse, ce qui permet ainsi d'aligner le satellite comme souhaité.

Pour pouvoir réaliser ces objectifs, CubETH est composé d'une multitude de sous-systèmes gérant les différentes fonctionnalités du satellite, ce qui permet d'avoir une approche systémique de son développement (figure 1):

- l'electrical power subsystem (EPS) gérant la puissance à bord du satellite;
- le communication subsystem (COM) responsable de la communication par ondes radio avec la station de contrôle au sol;
- le payload subsystem (PL) comportant les 6 capteurs GNSS et la charge scientifique de la mission;
- l'attitude determination and control subsystem (ADCS) responsable de l'orientation du satellite;
- et finalement le command and data management subsystem (CDMS) qui constitue l'ordinateur de bord du satellite.

Plus d'informations sur ces sous-systèmes et sur les objectifs du satellite peuvent être trouvées dans la publication du projet pour le symposium 4S [1].

La durée de la mission s'étendra de 7 mois à 7 années, en fonction de l'altitude de l'orbite choisie pour le satellite (entre 450 et 550 km). La friction avec l'atmosphère terrestre provoquera dès lors la chute inéluctable du satellite.

Architecture de l'ordinateur de bord

L'ordinateur de bord de CubETH n'est autre que le CDMS, celui-ci jouant un rôle central dans le fonctionnement du satellite. Il est assisté en grande partie par l'ADCS en ce qui concerne le contrôle de l'attitude du satellite. Pour CubETH, ces deux sous-systèmes sont agencés de manière originale afin de répondre aux objectifs du satellite.

Command and data management subsystem

Le CDMS est, d'une part, responsable de la gestion des commandes qui ont été envoyées au satellite depuis la station de contrôle au sol, le ground segment (GS), ainsi que de leurs relais aux sous-systèmes appropriés en temps voulu. Les éventuelles réponses aux requêtes envoyées par la station de contrôle sont aussi formulées par le CDMS.

D'autre part, le CDMS s'occupe de gérer et de récupérer toutes les données qui sont générées à bord du satellite, qu'il s'agisse de données scientifiques produites par le sous-système de payload, ou de données dites de housekeeping (HK), des paramètres vitaux du satellite qui reflètent son statut (par exemple les valeurs lues par les capteurs, les niveaux des batteries, la consommation de courant de chaque sous-système, etc.). Ces données stockées dans de la mémoire de masse peuvent être ensuite relayées à la station de contrôle, après avoir été intégrées dans des paquets générés par le CDMS.

Choix du microcontrôleur

Afin de pouvoir traiter, compresser et créer des paquets à partir de ces données stockées tout en gérant l'agenda du satellite de manière ponctuelle, le CDMS a besoin d'une puissance de calcul suffisante. Il est de plus nécessaire que le CDMS soit le plus résistant possible aux conditions auxquelles il est exposé dans une orbite terrestre basse: le choix de microcontrôleurs et de mémoires ayant déjà fait leurs preuves dans le domaine du spatial (c'est-à-dire dans d'autres missions de CubeSats) est donc privilégié. Un dernier critère de développement pour le CDMS réside dans le fait qu'un si petit satellite ne permet qu'une surface restreinte de panneaux solaires, réduisant ainsi la puissance électrique que le satellite a à disposition: le sous-système doit donc être le plus économique possible en énergie.

Le tableau présente une comparaison des différents microcontrôleurs qui ont été envisagés pour le CDMS. Ceux-ci ont tous été utilisés avec succès dans des projets spatiaux en orbite terrestre basse et sont donc des choix sûrs en matière de fiabilité. Le microcontrôleur qui a été retenu pour le CDMS est l'EFM32GG880, un ARM Cortex-M3 de la famille de produits de basse consommation énergétique Giant Gecko du fabricant norvégien Energy Micro, d'une puissance nominale de 36,5 mW. Avec une performance de 60 DMIPS (Dhrystone millions of instructions per second) à 48 MHz et ayant déjà été utilisé dans des CubeSats faisant partie du projet européen QB50, ce microcontrôleur économique en énergie est un choix idéal pour l'ordinateur de bord de CubETH en termes de performance et de sécurité.

Sélection des mémoires externes

Afin de stocker les données scientifiques et de housekeeping à bord du CDMS, des mémoires externes doivent être implémentées. Les 256 kB de RAM (random access memory) et 1024 kB de mémoire flash de l'EFM32GG880 ne sont en effet guère suffisants pour sauvegarder toutes les données du satellite, puisque les données scientifiques sont estimées entre 1 et 6 MB par scénario de mesures.

Les mémoires externes COTS qui ont été choisies pour le CDMS de CubETH ont été utilisées dans d'autres projets de satellite avec succès et sont donc fiables. Deux mémoires flash S29GL512 de 64 MB du fabricant Spansion sont employées en guise de mémoires de masse. Le dédoublement de ces mémoires permet d'avoir une redondance pour cette fonction critique; dans le cas où l'une d'entre elles serait endommagée ou comporterait trop de secteurs corrompus, l'autre pourrait encore être utilisée par le CDMS. Une MRAM (magnetoresistive RAM) MR0A08B de 128 kB du fabricant Everspin Technologies fait office de RAM

Modèle	EFM32GG880	MSP430F1611	AT91M55800A	AT91SAM7A3	AT91SAM7A1
Utilisé dans	CubeSense	SwissCube	SwissCube	AAUSAT3	Nanomind
Fabricant	Energy Micro	Texas Instruments	Atmel	Atmel	Atmel
Processeur	Cortex-M3	16-bit RISC	ARM7TDMI	ARM7TDMI	ARM7TDMI
Fréquence	48 MHz	8 MHz	33 MHz	60 MHz	40 MHz
Finesse de gravure	0,18 µm	0,35 µm	0,35 µm	0,18 µm	0,35 µm
Températures	-40 °C / 80 °C	-40 °C / 80 °C	-40 °C / 80 °C	-40 °C / 80 °C	-40 °C / 80 °C
Puissance	36,5 mW	8,7 mW	216 mW	231 mW	605 mW
Performance	60 DMIPS	N/A	31 DMIPS	57 DMIPS	38 DMIPS

Tableau Comparatif de microcontrôleurs ayant été utilisés dans d'autres projets de satellites.

TECHNOLOGIE **HARDWARE**

Swiss Space Center / EPFL

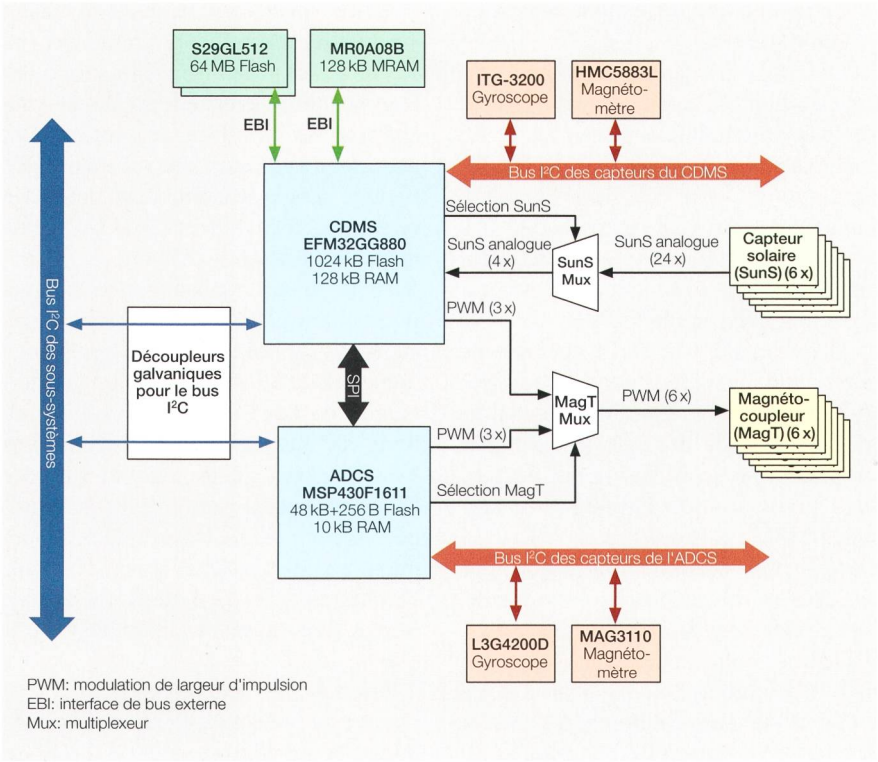


Figure 2 Architecture de la carte combinant l'ADCS et le CDMS.

externe et sauvegarde tous les paramètres et données critiques du satellite. Cette technologie de mémoire est particulièrement résistante aux radiations puisque les données sont stockées sous forme de dipôles magnétiques.

Attitude determination and control subsystem

Les autres sous-systèmes du satellite utilisent un microcontrôleur bien plus simple et moins performant que celui du CDMS. Héritage direct de la conception de l'électronique de bord de SwissCube, le microcontrôleur de Texas Instruments MSP430F1611 a fait ses preuves dans le premier satellite suisse, n'ayant pas été la cause de failles critiques pendant la durée de la mission. C'est donc ce microcontrôleur avec une horloge interne de 8 MHz qui est utilisé pour les autres sous-systèmes du satellite, y compris l'ADCS.

CubETH doit employer des algorithmes de détermination et contrôle d'attitude complexes afin d'orienter le satellite selon deux axes. Cela lui permet de diriger les antennes des capteurs GNSS vers le nadir (le point à l'opposé du zénith) où se trouvent les satellites de positionnement.

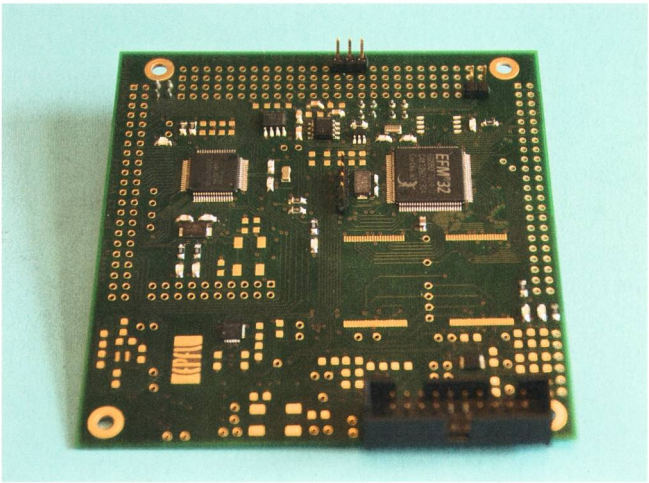
L'un des algorithmes de détermination d'attitude, un filtre de Kalman étendu, est chargé de traiter les mesures de certains des capteurs embarqués (accéléromètres, gyroscopes et capteurs solaires) pour en extrapoler l'attitude actuelle du satellite. En parallèle, un algorithme SGP4 se base sur une mesure du temps à bord du satellite pour déterminer la position de ce dernier dans un référentiel inertiel terrestre. Les capteurs utilisés par ces algorithmes sont des composants COTS et sont donc implémentés en plusieurs exemplaires à bord du satellite afin de créer une redondance qui protégerait le système au cas où l'un d'eux succomberait aux conditions spatiales. Les capteurs utilisés sont des magnétomètres HMC5883L de Honeywell et MAG3110 de Freescale Semiconductor, ainsi que des gyroscopes ITG-3200 de SparkFun Electronics et L3G4200D de STMicroelectronics.

La détermination de la position du satellite et de ses vitesses de rotation permettent ensuite aux algorithmes de contrôle d'attitude d'estimer dans un premier temps le champ magnétique terrestre puis, dans un deuxième temps, de calculer le courant nécessaire à fournir aux magnétocoupleurs afin d'orienter le satellite dans la direction souhaitée. Ces opérations s'effectuent sur des matrices 6 x 6 qui doivent pouvoir être inversées, ce qui nécessite une puissance de calcul considérable si ces algorithmes doivent être exécutés dans des délais stricts.

Un mariage idéal

Le problème réside dans le fait que le MSP430F1611 qui constitue le cerveau de l'ADCS n'a pas assez de puissance de calcul pour exécuter ces algorithmes. Dans le cas de SwissCube, ce sous-système employait un algorithme très simple de stabilisation (le B-dot) qui consistait à générer un couple sur les magnétocoupleurs qui s'opposait à la vitesse de rotation actuelle du satellite, permettant ainsi de la ralentir (manœuvre dite de « detumbling »).

Dans l'objectif de conserver la fiabilité offerte par le MSP430F1611 au niveau de l'ADCS, un compromis a été atteint : le CDMS et l'ADCS peuvent être combinés sur une même carte et une même architecture afin de permettre à l'ADCS d'emprunter un peu de puissance de calcul au CDMS. Les microcontrôleurs des deux sous-systèmes sont donc implémentés sur la même carte et partagent à eux deux un bus de communication SPI (Serial Peripheral Interface) en plus du bus de communication I²C (Inter-Integrated Circuit) général des sous-systèmes du satellite (figures 2 et 3). Ceci permet aux deux sous-systèmes d'échanger constamment des informations sans surcharger le bus de communication des autres sous-systèmes.



Swiss Space Center / EPFL

Figure 3 Photo de de la carte ADCS/CDMS.

TECHNOLOGIE **HARDWARE**

Alain Herzog / EPFL

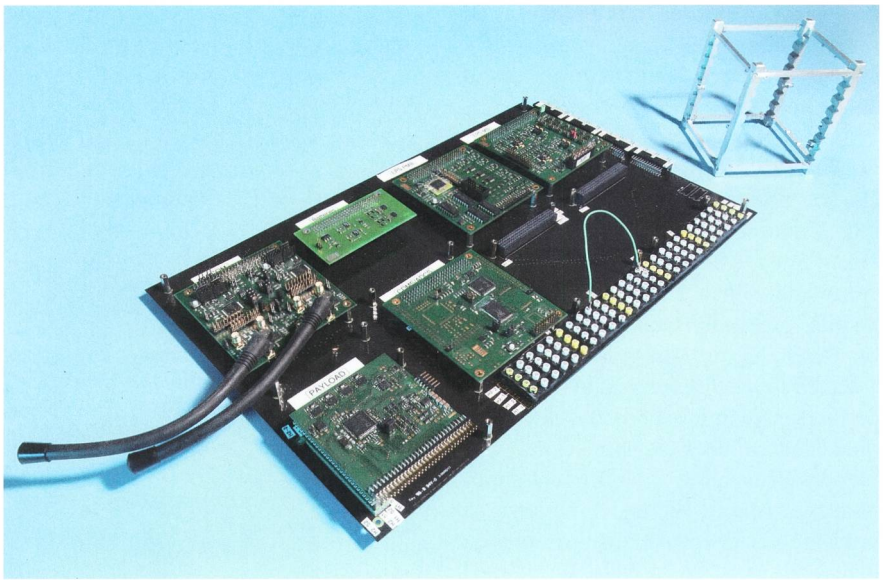


Figure 4 L'émulateur électrique « Flat Sat » de CubETH.

Une partie importante des algorithmes de contrôle d'attitude sur 2 axes est exécutée sur le microcontrôleur plus performant du CDMS afin d'aider le MSP430F1611 de l'ADCS à mener à bien sa tâche. En cas de faille critique du CDMS, son microcontrôleur étant plus vulnérable aux effets de la radiation, l'ADCS peut continuer à exécuter des algorithmes plus simples de « detumbling » indépendamment du CDMS. Il est ainsi possible d'assurer un certain degré de robustesse tout en préservant des fonctionnalités complexes. Chaque sous-système reste indépendant et comporte son propre lot de capteurs pour des raisons de redondance. À l'aide de multiplexeurs (Mux), les deux microcontrôleurs peuvent contrôler les magnétocoupleurs et lire les « sun sensors » (capteurs solaires) qui permettent de déterminer la position du soleil par rapport au satellite. Ces ressources resteront donc accessibles en cas de faille de l'un des deux sous-systèmes.

Le mariage de ces deux sous-systèmes présente un avantage supplémentaire : il économise du volume à bord du nanosatellite, ce qui permet de mieux optimiser l'espace à bord pour disposer de plus de batteries par exemple.

Un logiciel embarqué robuste

L'ordinateur de bord a pour but de gérer l'agenda du satellite de manière ponctuelle, ainsi que de faire en sorte que toutes les tâches, telles que les algorithmes de l'ADCS, la gestion de la mémoire et l'interprétation des commandes venues du sol, soient exécutées dans les temps. Il est donc nécessaire pour le microcontrôleur du CDMS d'avoir recours à un système d'exploitation en temps réel (RTOS pour real-time operating system).

Caractéristiques

Le choix de RTOS pour CubETH doit prendre en compte plusieurs critères. Dans un premier temps, il doit avoir une empreinte moindre sur la ROM (read only memory) et sur la RAM et être peu gourmand en puissance de calcul, le hardware du satellite étant limité. Cela implique que le RTOS doit être configurable afin d'avoir le strict minimum de fonctionnalités. Le code du RTOS doit de plus être robuste et tolérant aux failles critiques de mémoire qui peuvent être engendrées par les radiations.

Le RTOS retenu pour le projet CubETH est le µC/OS-II produit par l'entreprise Micrium. Ce système d'exploitation reposant sur un multitâche préemptif est développé principalement en C, avec une couche bas niveau en assembleur qui adapte le RTOS au hardware sur lequel il est exécuté. Il ne peut supporter qu'un nombre limité de tâches simultanées (soit 64 tâches concurrentes), mais a toutes les fonctionnalités nécessaires à un RTOS, telles que les sémaphores et les routines d'interruption. Le point fort de ce logiciel réside dans le fait qu'il a été qualifié pour les applications critiques, telles que l'aviation et le spatial.

Afin d'augmenter la fiabilité du logiciel de bord du satellite, celui-ci est développé selon les normes spatiales européennes de l'ECSS (European cooperation for space standardization). De plus, des précautions sont prises quand il s'agit de manipuler la mémoire en évitant l'utilisation de fonctions standard de l'ANSI C, telles que l'allocation dynamique de mémoire. De telles fonctions ont un temps d'exécution non-déterministe et résultent en une fragmentation de la mémoire, ce qui peut provoquer des fautes graves après une durée de mission suffisamment longue.

Validation sous radiations

Des tests de radiations seront réalisés au Paul Scherrer Institute (PSI) sur l'ordinateur de bord pendant que le logiciel embarqué sera exécuté par celui-ci. Ceci permettra d'une part d'évaluer la résistance des composants choisis aux doses de radiations reçues par un satellite en orbite terrestre basse. D'autre part, il sera ainsi possible de s'assurer que les circuits de protection contre les SEL (single event latchups, des générations de courts-circuits dans les semi-conducteurs provo-

Zusammenfassung **Entwicklung eines Mikrocomputers für Nanosatelliten**

Ein robuster und effizienter Mini-Bordcomputer für CubETH

Mit der steigenden Bedeutung des CubeSat-Standards in der Raumfahrt, einem Würfel mit einem Volumen von 1 l und einem Gewicht von maximal 1,33 kg, wird auch die Miniaturisierung der Bordelektronik eines Satelliten immer wichtiger. Will man also komplexere Navigationssysteme entwickeln, gilt es, die Grösse und den Energieverbrauch der Bordcomputer zu verringern.

Ein Mikrocomputer, der robust, leistungsfähig und zugleich zuverlässig ist, wird derzeit im Swiss Space Center im Rahmen des Schweizer Nanosatellitenprogramms CubETH entwickelt. Eine der Herausforderungen besteht darin, ein komplexes System aus günstigen Bauteilen zu entwickeln, das den extremen Bedingungen strotzen kann, denen die Satelliten in der erdnahen Umlaufbahn ausgesetzt sind – also hohe Strahlung, Vakuum und starke Temperaturschwankungen – und das sich nach einem kritischen Fehler schnell wieder erholen kann. In diesem Artikel wird die Entwicklung des Mikrocomputers von CubETH beschrieben. Der Satellit soll im ersten Quartal 2016 ins All geschossen werden. CHe

TECHNOLOGIE **HARDWARE**

quées par ionisation) fonctionnent correctement et sont réactifs. Enfin, cela permettra de vérifier l'implémentation du logiciel afin de s'assurer que celui-ci est capable de se remettre de « single event upsets (SEU) », des inversions de bits dans la mémoire provoquées également par ionisation.

Pour un lancement en 2016

Malgré le volume restreint et la faible puissance électrique à disposition du satellite, CubETH embarque des fonctionnalités complexes et une puissance de calcul élevée pour un ordinateur de bord destiné à opérer dans l'hostile milieu spatial. Si la mission s'avère être un succès et que l'ordinateur de bord du satellite comportant les sous-systèmes ADCS et CDMS n'est pas à l'origine de failles critiques, le système développé deviendra l'un des plus avancés pour les nanosatellites CubSat à budget restreint. Cela prouverait aussi qu'il est possible d'employer des capteurs GNSS commerciaux pour réaliser le positionnement précis de satellites en orbite. Ce dernier point peut être très avantageux pour des petits satellites qui visent à implémenter des algorithmes de contrôle d'attitude plus complexes en utilisant des magnéto-coupleurs, puisqu'il permettra d'implémenter des algorithmes de propagation d'orbite plus précis.

Le projet est actuellement en phase B de développement : des prototypes de chaque carte électronique et des éléments mécaniques sont produits. Ces prototypes seront intégrés à un émulateur électrique dénommé « Flat Sat » (figure 4), une grande carte mère sur laquelle seront branchés tous les sous-systèmes et qui assurera toutes les connexions entre ces derniers de manière similaire à la version finale du satellite. Cela permettra d'effectuer des essais sur les interfaces entre tous les sous-systèmes et de commencer à implémenter des premières versions du logiciel de bord du satellite. La date de lancement du satellite est prévue pour le premier trimestre 2016.

Référence

[1] A. B. Ivanov, L. A. Masson, S. Rossi, F. Belloni, R. Wiesendanger, V. Gass, M. Rothacher, Ch. Hollenstein, B. Männel, P. Fleischmann, H. Mathis, M. Klaper, M. Joss, E. Styger : CubETH : low cost GNSS space experiment for precise orbit determination. Small Satellites Systems and Services Symposium, Porto Petro, Majorca, Spain, May 2014. https://infoscience.epfl.ch/record/201520.

Auteurs

Louis Masson a obtenu son diplôme d'ingénieur en microtechnique de l'EPFL en 2013 suite à un travail de Master au Swiss Space Center sur l'ordinateur de bord de CubETH. Il collabore depuis au Swiss Space Center en tant qu'assistant scientifique dans le cadre de plusieurs projets, notamment celui de CubETH.

Swiss Space Center, EPFL, 1015 Lausanne, louis.masson@epfl.ch

Prof. **Volker Gass** a obtenu un Master en microtechnique à l'EPFL en 1989. Parallèlement à son poste de chef de projet à Mecanex SA, il a réalisé un doctorat dans le domaine des Technologies des microsystèmes appliquées à l'Université de Neuchâtel en 1994. En 2011, il est nommé directeur du Swiss Space Center puis, en 2012, Professeur titulaire de l'EPFL. Membre de la délégation suisse de l'Agence spatiale européenne (ESA) en tant que conseiller pour l'Industrial policy, il a été nommé en janvier 2014 pour servir dans le Human exploration and spaceflight advisory committee (HESAC) de l'ESA.

Swiss Space Center, EPFL, 1015 Lausanne, volker.gass@epfl.ch

Dr **Anton Ivanov** est collaborateur scientifique au Swiss Space Center. Il est chef de projet pour le Cubesat CubETH et responsable du Mineur en technologies spatiales de l'EPFL. Suite à l'obtention d'un doctorat en Sciences planétaires à Caltech en 2000, il a rejoint le Jet propulsion laboratory pour contribuer aux projets de Mars exploration puis, en 2007, le Swiss Space Center pour mener le développement du Concurrent design facility et pour développer des projets et des applications de petits satellites.

Swiss Space Center, EPFL, 1015 Lausanne, anton.ivanov@epfl.ch

Anzeige

IS-E

die starke Softwarelösung für Energieversorger

- Abrechnung aller Energiearten und Dienstleistungen
- Flexible Produktgestaltung
- Ein- / Zwei-Vertragsmodell
- Unbundling
- CRM / Marketing
- Vertragsmanagement
- Business Intelligence (BI) / Management-Informationssystem (MIS)
- Integration von EDM-Systemen, Fernablesesystemen, Ablesegeräten, Smart Metering

Über 420 Energieversorger mit mehr als 2 Mio. Messgeräten setzen auf das führende Informationssystem IS-E.

InnoSolv

www.innosolv.