

Annexe

Etudes des événements GPS :

Contrôle en translation

Ce point nous semble essentiel pour la bonne suite du projet et diverses solutions, en vue de maintenir le quadri-rotor à une position fixe, sont envisageables :

- **Contrôle par télécommande** : bien que ne répondant plus à la problématique du projet en supprimant la fonctionnalité autonome de l'engin, le contrôle en translation au moyen d'une télécommande est la manière la plus simple de maintenir le quadri-rotor dans une zone donnée. Déjà implémenté dans l'algorithme, ce contrôle nécessite une personne tenant la manette, et donner des consignes inverses aux directions vers lesquelles le quadri-rotor translate.
- **Détection d'obstacles** : ceci est une solution qui permet de donner une certaine autonomie au quadrirotor, d'une manière relativement aisée. L'idée est de placer un ou plusieurs capteurs (ultrasons, ...) sur le quadri-rotor, et empêcherai ce dernier de toucher des obstacles, en commandant le quadrirotor dans le sens opposé. C'est en fait une méthode qui permet de s'abstenir de la personne qui pilote l'engin via la manette, mais cela ne permet toujours pas de le maintenir à une position fixe.
- **Webcam et LEDs** : un système composé de LEDs placés sur le quadri-rotor et d'une webcam associée à un poste de travail permettrait cette fois-ci de maintenir le quadri-rotor à une position fixe, sans intervention humaine. Malheureusement, bien que cela ne soit pas bien compliqué à mettre en place, le quadri-rotor n'est alors plus autonome. En effet, un ordinateur doit en permanence être à ses côtés, et si l'engin volant sort du champ de vision de la webcam, il semble impossible de le retrouver à sa position initiale.
- **Ajout d'un GPS** : une technique couramment employée dans l'asservissement en position de drones est l'emploi d'un GPS. Il permet de connaître la position absolue sur la terre, et autorise donc une autonomie totale de l'engin. Aussi, la position d'un tel système est très limité (dizaine de mètres) et n'est utilisable qu'en extérieur. Cela peut tout de même être une piste à explorer, en association à une centrale inertielle plus évoluée.
- **Ajout d'une caméra** : voici la technique qui semble la plus adaptée au projet, mais en contrepartie, elle est également la plus compliquée à mettre en place. Elle consiste à doter le quadri-rotor d'une caméra vidéo, d'acquérir les images, et d'en analyser le contenu, afin de déterminer l'environnement (murs, sol, plafond, obstacles). Serait alors possible de maintenir le quadri-rotor à une distance fixe et déterminée entre deux murs par exemple, et de ce fait, est utilisable en intérieur. Mais ce système nous semble assez complexe à mettre en oeuvre, et pourrait même occuper cinq semaines de projet à lui seul, et pourquoi pas, ferait un bon sujet en majeure Signaux et Télécommunications.

Table 3 Specification of X-Copter 1 (Fig. 2)

Model	Oneseen Skytech X-Copter1
Dimensions	Width: 0.74 m Length: 2.680m/3.645m (main rotor included) Height:1.18m Main rotor diameter: 3.135 m Tail rotor diameter: 0.544 m
Weight	Empty weight: 83 kg Payload: 30kg
Engine	Rotary engine, 4-cycle Cylinder volume: 294 cc Power: 38HP/49HP Max Water-cooled with radiator Fuel: gasoline:lubricant mixture (50:1 ratio) Fuel tank volume : 10 liters Electric starter Onboard generator (12V, 8A)
Flying time	60~90 minutes depending on the load and flight conditions
Avionics	Navigation: DGPS-aided INS GPS: NovAtel OEM V-2 IMU: Inertial Science ISIS IMU Flight Computer: PC104 Pentium III 400MHz Communication: Microhard radio modem (900 MHz) Onboard status indicator light and control panel
Autonomy	Attitude stabilization Waypoint navigation with automatic take-off and landing Airspeed-sensitive spraying Automatic collision-free path generation and tracking

Table 1 Laboratories with development UAV helicopters

University	Hardware and sensors	Software
Massachusetts Institute of Technology [24–26]	X-Cell 60 Helicopter ISIS-IMU (100 Hz & 0.02 deg/min drift) Honeywell HPB200A Altimeter (2 ft accuracy) Superstar GPS (1 Hz)	QNX Operating System 13-state extended Kalman filter (state estimation) LQR based control
Carnegie Mellon University [26–29]	Yamaha R-Max Helicopter Litton LN-200 IMU (400 Hz) Novatel RT-2 DGPS (2 cm accuracy) KVH-100 flux-gate compass (5 Hz) Yamaha laser altimeter	VxWorks Operating System 13-state extended Kalman filter (state estimation) Control based on PD and H_∞ control
Stanford University [30, 31]	XCell Tempest 91 Helicopter Microstrain 3DM-GX1 (100 Hz) Novatel RT-2 DGPS (2 cm accuracy) DragonFly2 cameras (position est.)	Undisclosed Operating System 12-state extended Kalman filter (state estimation) Differential Dynamic Programming Extension of Linear Quadratic Regulator
Georgia Institute of Technology [32–34]	Yamaha R-50 Helicopter ISIS-IMU (100 Hz & 0.02 deg/min drift) Novatel RT-2 DGPS with 2 cm accuracy Radar and Sonar Altimeters HMR-2300 triaxial magnetometers	OS: QNX, VxWorks, Linux Real-time CORBA Object Request Broker Arch. 17-state extended Kalman filter Neural networks control (Feedback linearization)
University of California Berkeley [35, 36]	Yamaha R-Max & Maxi Joker Boeing DQI-NP INS/GPS system Novatel Millen RT-2 DGPS (2 cm accuracy)	VxWorks Operating System No state estimation (provided by sensor) Reinforcement Learning control
University of Southern California [37, 38]	Bergen twin Industrial Helicopter ISIS IMU (100 Hz & 0.02 deg/min drift) Novatel RT-2 DGPS (2 cm accuracy) TCM2–50 triaxial magnetometer Laser altimeter (10 cm accuracy, 10 Hz)	Linux Operating System 16-state Kalman filter (state estimation) Decoupled PID based control
CSIRO [26, 39]	X-Cell 60 Helicopter Custom embedded IMU with compass (76 Hz) Ublox GPS with WAAS (2 m accuracy) Stereo vision for height estimation	LynxOS Operating System Velocity estimation using vision 2×7 -state extended Kalman filters Complimentary filters PID based control
JPL [40, 41]	Bergen Industrial Helicopter NovAtel OEM4 DGPS ISIS IMU (2 cm accuracy) MDL ILM200A laser altimeter TCM2 compass	QNX real-time OS Behavior based and H_∞ control Extended Kalman filter (state estimation) Image-based motion estimates

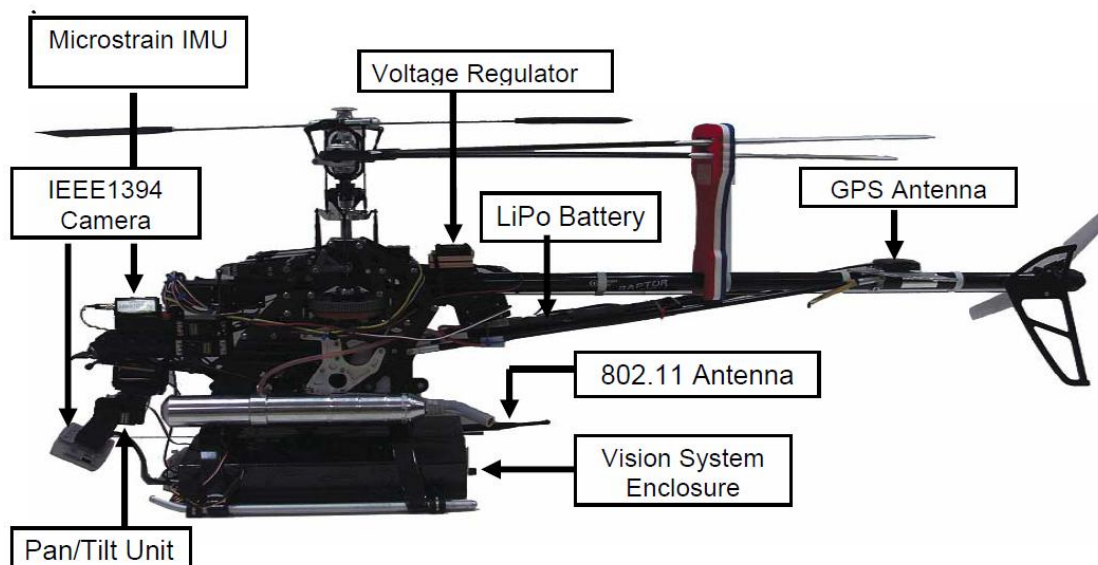
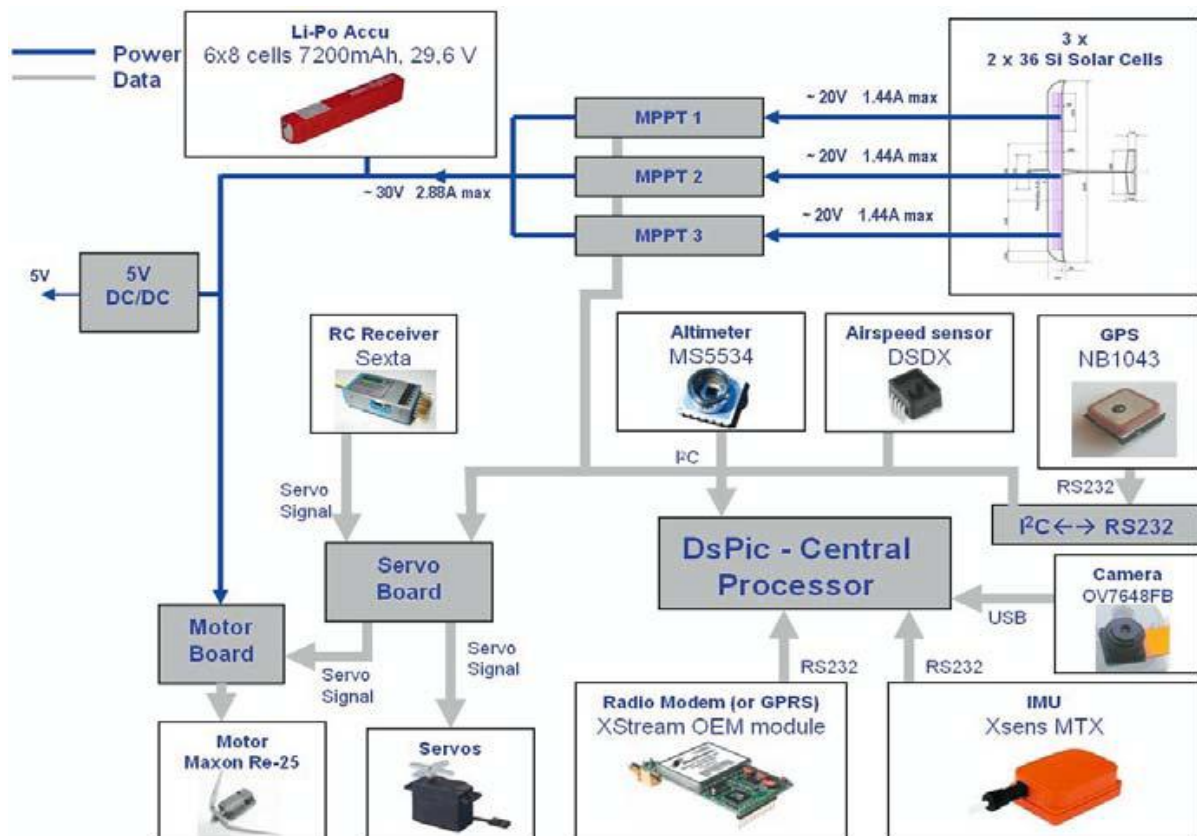
- Novatel Superstar 2 GPS receiver (5 Hz, 5 V model)
- Microbotics Servo/Safety Controller (SSC)
- Thunderpower 11.1 V 4.2Ah LiPo Battery
- Intel Pro 2200 802.11B/G Mini-PCI wireless card
- URG-04LX Hokuyo laser range finder
- IVC-200G 4channel frame grabber
- 120 Watt picoPSU-120 Power supply
- Sony FCB-EX980S module camera

Quelque types du GPS :

- COTS GPS receiver.
- GPS Novatel Superstar II de 10 Hz
- NovAtel OEM-4 Differential GPS (5 Hz, 5 vol model).
- GPS NB1043
- NovAtel RT-2 GPS receiver (1 Hz)
- Motorola M12+ GPS Receiver
- RXM-SG GPS
- Fastrax UP500 GPS Receiver

Choix d'un GPS [7]

GPS receiver		
Receiver type	50 channels, GPS, L1 Frequency, C/A Code SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN	
Position accuracy	2m / 2.5m 5m	CEP (Hor. accuracy) w. / w.o. SBAS SEP (Vertical accuracy)
Velocity Accuracy	0.1 m/s	
Course Accuracy	0.5°	
Tracking sensitivity	- 160 dB	User selectable
Time to first fix	< 1s / < 29 s	Hot start / Cold start
Operational limits	≤ 4g	Max dynamics
	50 000 m	Max altitude
	500 m/s	Max velocity



(a) Raptor 90 SE – V1

<http://www.rfsolutions.co.uk/>

Module GPS avec antenne intégré (Fastrax UP500 GPS Receive)

Lien : <http://radiospares-fr.rs-online.com/web/p/gps/6722810/>

Fichier : 0900766b80d64665.pdf

Photos



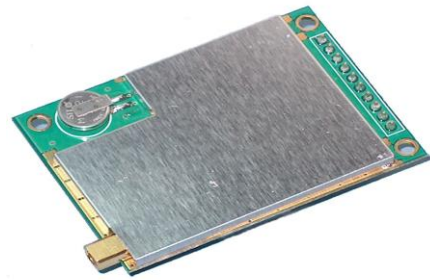
Caractéristiques :

Receiver	GPS L1 C/A-code, SPS
Channels	32 channels
Update rate	1 Hz default (fix rate configurable up to 5Hz)
Acquisition Sensitivity (Cold start)	-146dBm (1)
Re-acquisition Sensitivity	-155dBm (1)
Navigation Sensitivity	-159dBm (1)
Tracking Sensitivity	-159dBm (1)
Supply voltage, VDD	+3.0V...+5.5V
Back up supply voltage, BU	+1.5V...+5.5V
Power consumption, VDD	90 mW typical @ 3.0V
Power consumption, BU	10 uW typical @ 3.0V (during battery backup state). Current at BU pin may peak up to 100uA in full operating state.
Operating temperature range	-40°C...+85°C (2)
Serial port protocol	Port 0: NMEA
Serial data format	8 bits, no parity, 1 stop bit
Serial data speed (default)	NMEA: 9600 baud
I/O signal levels	CMOS compatible: low state: 0.0...0.4V; high state: 0.7...3.3V. (3)
I/O sink/source capability	+/- 2 mA max.
PPS output	+/- 1us accuracy

Module GPS avec antenne externe (Récepteur GPS 65 canaux -161dBm)

<http://radiospares-fr.rs-online.com/web/p/gps/7043297/>

0900766b80df9548.pdf

Photos**Caractéristiques :**

Parameter	Specification	
	65 Channels	
Receiver Type	GPS L1 frequency, C/A Code	
Time-To-First-Fix	Cold Start (Autonomous)	29s (Average, under open sky)
	Warm Start (Autonomous)	5s (Average, under open sky)
	Hot Start (Autonomous)	1s (Average, under open sky)
Sensitivity	Tracking & Navigation	-161 dBm
	Reacquisition	-161 dBm
	Cold Start (Autonomous)	-145 dBm
Accuracy	Autonomous	2.5 m CEP
	Velocity	0.1 m/sec (without aid)
	Time	300 ns
	RMS	30 ns
	99%	<60 ns
	Compensated ⁵	15 ns
Max Update Rate	Supports 1 / 2 / 4 / 5 / 8 / 10 Hz update rate (1Hz default)	
Velocity Accuracy	0.1m/s	
Heading Accuracy	0.5 degrees	
Dynamics	□ 4 G (39.2 m/sec)	
Operational Limits	Velocity	515 m/s (1000 knots)
	Altitude	<18000 meters
	(COCOM limit, either may be exceeded but not both)	
RF connector	MMCX	
Serial Interface	3.3V LVTTTL level, 10 pin 2mm male header	
Datum	Default WGS-84 User definable	
Input Voltage	3.3V -5V DC +/-10%	
Input Current	~36 mA tracking	
Dimension	43L x 31W x 6H (mm)	
Weight	10g	

Références

- [1] K.M.Zemalache, "Commande d'un système sous-actionné : Application à un drone à Quatre Hélices " Thèse de Doctorat, Université d'Evry Val d'Essonne, France.
- [2] C.A. Patel, « Building a Test Bed for mini Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle with protective Shroud », a thesis submitted to the department of Mechanical Engineering and the faculty of the Graduate School of Wichita State University in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of science, July 2006.
- [3] Guillaume CHARLAND-ARCAND, "Contrôle Non Linéaire Par Backstepping D'un Hélicoptère De Type Quadrotor Pour Des Applications Autonomes", Mémoire Présenté A L'école De Technologie Supérieure L'obtention De La Maîtrise En Génie Electrique, QUÉBEC - 2014.
- [5] J.M. Pflimlin, " Commande d'un mini drone à hélice carénée : De la stabilisation dans le vent à la navigation autonome ", Thèse de doctorat, Ecole Doctorale Systèmes de Toulouse, France, 2006.
- [6] A. P. Duchon. Maze navigation using optical flow. In P. Maes, M. Mataric, J.-A. Meyer, J. Pollack, and S. Wilson, editors, From Animals to Animats 4, Proceedings of the International Conference on Simulation of Adaptive Behavior, pages 224–232, Cambridge, MA, 1996. MIT Press/Bradford Books.
- [7] Zhang P., Gu J., Milios E. E. and Huynh P., "Navigation with IMU/GPS/Digital Compass with Unscented Kalman Filter", Proceedings, IEEE International Conference on Mechatronics & Automation, 2005.
- [8] Phillips R. E., and Schmidt G. T., System Implications and Innovative Applications of Satellite Navigation, Volume 207 of AGARD Lecture Series 207, Chapter GPS/INS Integration, 0.1–0.18, NASA Center for Aerospace Information, 1996.
- [9] Vik B., and Fossen T., "A Nonlinear Observer for GPS and INS Integration", Proceedings, 40th IEEE Conference on Decision and Control, 2001.
- [10] Bulusu N., Heidemann J., Estrin D., "GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices", Proceedings, 21st International Conference on Distributed Computing Systems, Phoenix, AZ, 2001.
- [11] Luiz C., Grocholsky B., Keller J. F., Kumar V., Taylor C. J., "Experiments in Multirobot Air-Ground Coordination", Proceedings, IEEE International Conference on Robotics and Automation, New Orleans, LA, 2004.
- [12] Document : IG500NUM.11, Revision : 11 - Mar 18, 2011 " IG-500N GPS Aided AHRS User Manual ", SBG Systems 92500 Rueil Malmaison France.
- [13] C.A. Patel, "Building a Test Bed for mini Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle with protective Shroud", Master of Science thesis, Graduate School of Wichita, USA, 2006.
- [14] H.Bouadi, «Synthèse de lois de commande stabilisantes pour unUAV type Quadrotor étude et application », Thèse de Magister, Ecole Militaire Polytechnique,2007.
- [15] Zeghlache Samir, "Commande non linéaire d'un appareil à vol vertical", Thèse de doctorat, université de M'sila 2014.

- [16] H. Khebbache "Tolérance aux défauts via la méthode backstepping des systèmes non linéaires Application : Système UAV de type Quadrirotor", université Ferhat Abbas de Setif, 2012.
- [17]: H. Bouadi, M. Bouchoucha, and M. Tadjine "Sliding Mode Control based on Backstepping Approach for an UAV Type-Quadrotor" World Academy of Science, Engineering and Technology 26, 2007.
- [18] P. Castillo, R. Lozano and A.E. Dzul, "Modelling and Control of Mini-Flying Machines", Springer-Verlag London, 2005.
- [19] Lamine Kistrane, "Commande non linéaire de la machine à induction «aspect expérimental", Mémoire de Magister en Électrotechnique, Université de Batna, 2008. Algérie.
- [20] Meziane.S, Toufouti.R and Benalla.H. "Applied input-output linearizing control for highperformance induction motor", JATIT, Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol. 4, Number1, pp. 7-15, January, 2008.
- [21]: L.Derafa, A.Ouldali "Feedback Linearization and Pole Placement Law Control for A four Rotors Helicopter" Control and Command Laboratory EMP, CGE-06, Alger 13-14 April 2009.
- [22]: N. Guenrad, T. Hamel, V. Moreau, " Modélisation et élaboration de commande de stabilisation de vitesse et de correction d'assiette pour un drone de type X4-Flyer ", UNSA-CNRS, 2004.
- [23]: H. Bouadi, M. Bouchoucha, and M. Tadjine "Sliding Mode Control based on Backstepping Approach for an UAV Type-Quadrotor" World Academy of Science, Engineering and Technology 26, 2007.
- [24] Comment choisir les composants d'un quadricoptère [en ligne]. Disponible sur: https://projetdroneamateur.wordpress.com/choix_composant/
- [25] Comment fabriquer un drone UAV [en ligne]. Disponible sur: <http://www.robotshop.com/blog/fr/comment-fabriquer-un-droneuav-lecon-5-assemblage-4839>
- [26] Tero Karvinen, Kimmo Karvinen, Ville Valtokari, Les capteurs pour Arduino et Raspberry pi. Paris, Dunod (2014). p31-37. ISBN: 978-2-10-071793-4.
- [27] Jean Marc Piéplu, GPS et Galileo, Systèmes de navigation par satellites. Paris, Eyrolles (2006). ISBN: 978-2-212-11947-3.
- [29] Khalil, K. Hassan, « NonLinear Systems : Third Edition ». Prentice Hall, 2002.
- [30] J.J.E. Slotine and W. Li, 'Applied nonlinear control', Prentic-Hall, Inc, 1991.
- [31] A. Isidori, "Nonlinear Control Systems", Springer-Verlag, Berlin, 3rd edition edition, 1995.
- [32] K. Khettab. Commande adaptative floue des systèmes non linéaires par la méthode de backstepping utilisant le mode glissant. Mémoire de Magister, Université de Frahat Abbas - Sétif, 2005.