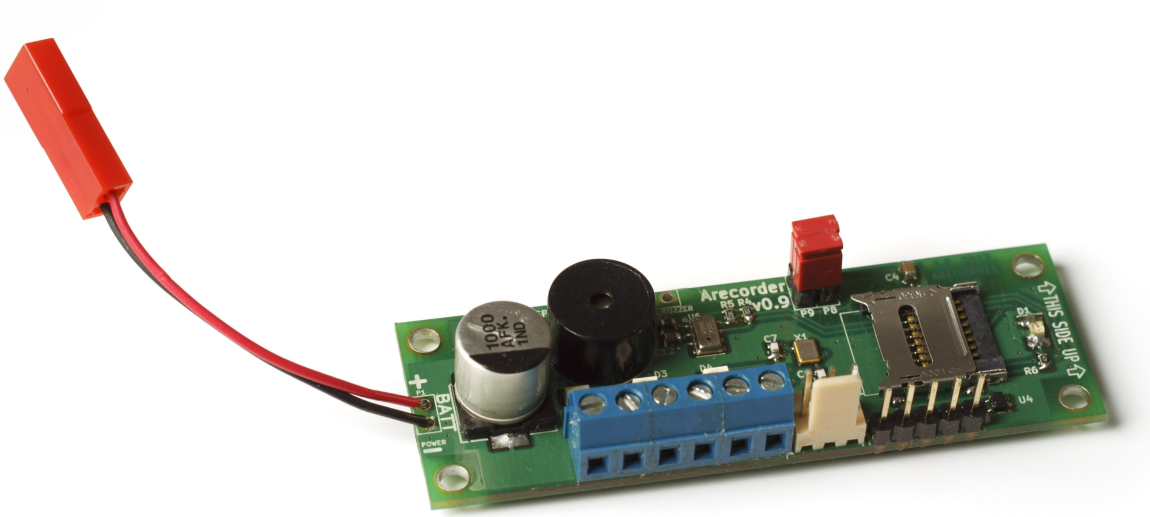
Arecorder

v. 0.9



Arkadiusz Paliński

Gdańsk, 2013 rok

Spis treści

1. Wstęp . . . 3

2. Opis wyprowadzeń . . . 4

2.1. Zasilanie . . . 4
2.2. Złącze dodatkowego brzęczyka . . . 5
2.3. Złącze wyboru programu . . . 5
2.4. Złącze karty micro SD . . . 6
2.5. Złącze programujące mikrokontroler . . . 6
2.6. Złącze programujące parametry Arecordera . . . 6
2.7. Wyzwalanie zapalników . . . 6

3. Format danych zapisywanych na karcie SD . . . 8

3.1. Format danych pliku z danymi pomiarowymi . . . 8
3.1.1. Nagłówek . . . 8
3.1.2. Właściwe dane pomiarowe . . . 10
3.1.3. Dane podsumowujące . . . 10
3.2. Format danych pliku z danymi podsumowującymi . . . 10

4. Opis działania . . . 13

4.1. Obliczenia dokonywane przez Arecorder . . . 13
4.2. Stan 0 - oczekiwanie na inicjalizację . . . 14
4.2.1. Tryb konfiguracji . . . 14
4.2.2. Tryb Lotu . . . 15
4.3. Stan 1 - oczekiwanie na start rakiety . . . 16
4.4. Stan 2 - silnik pierwszego stopnia aktywny . . . 16
4.5. Stan 3 - silnik pierwszego stopnia się wyczerpał, oczekiwanie na minięcie opóźnienia odpalenia silnika drugiego stopnia . . . 16
4.6. Stan 4 - oczekiwanie na odpalenie silnika drugiego stopnia i jednoczesne oczekiwanie na osiągnięcie pułapu . . . 17
4.7. Stan 5 - silnik drugiego stopnia aktywny . . . 17
4.8. Stan 6 - oczekiwanie na osiągnięcie pułapu . . . 17
4.9. Stan 7 - wyzwolono spadochron-pilot, oczekiwanie na wystąpienie warunku wyzwolenia spadochronu głównego . . . 18
4.10. Stan 8 - oczekiwanie na lądowanie . . . 19
4.11. Stan 9 - rakieta wylądowała . . . 19
4.12. Stan 10 - zatrzymanie zapisywania danych . . . 19
4.13. Stan 11 - pikanie brzęczyka . . . 19

5. Parametry techniczne . . . 20

5.1. Absolutnie maksymalne parametry . . . 20

5.2. Parametry elektryczne 21
5.3. Parametry fizyczne i mechaniczne 22

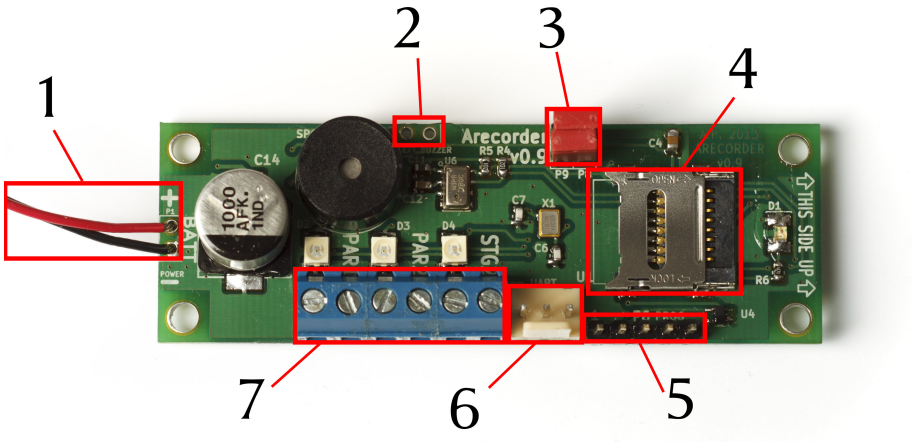
6. F.A.Q. - Najczęściej zadawane pytania 23

1. Wstęp

— pomiar ciśnienia w zakresie 20 - 110 kPa (co odpowiada maksymalnej wysokości 11,7 km),
— pomiar przyspieszenia - trzy osie ± 24 g, jedna oś (wzdłuż osi rakiety) ± 80 g,
— pomiar temperatury wewnątrz rakiety w zakresie -50 do +130 stopni,
— zapis danych na karcie micro SD,
— próbkowanie danych z częstotliwością 100 Hz,
— zaimplementowany filtr Kalmana do odszumienia pomiarów ciśnienia,
— wykrywanie i sygnalizowanie podpiętych zapalników,
— wyzwalanie trzech zapalników - dwóch spadochronów i drugiego stopnia rakiety,
— wyzwalanie spadochronu głównego po wykryciu awarii spadochronu-pilota,
— wykrywanie kąta pochylenia rakiety na wyrzutni,
— pomiar napięcia zasilania Arecordera,
— programowalny czas opóźnienia pomiędzy końcem pracy pierwszego silnika a odpaleniem silnika drugiego stopnia,
— wybór jednego z czterech zestawów ustawień pracy Arecordera,
— programowanie parametrów konfiguracyjnych Arecordera oraz imienia, nazwiska i numeru telefonu właściciela za pomocą programu na komputerze PC,
— zapis podsumowania lotu w formie kilkunastu najważniejszych parametrów lotu.

Arecorder jest urządzeniem przeznaczonym do rejestrowania danych podczas lotu rakiety oraz wyzwalania zapalników w określonych chwilach. Urządzenie jest przeznaczone do rakiet średnich i dużych, również dwustopniowych i naddźwiękowych, o pułapie nieprzekraczającym 11,7 km. Zastosowane algorytmy pozwalają na wykrycie sytuacji nietypowych (np. lot pod dużym kątem) i odpowiednio na nie zareagować zmniejszając ryzyko zniszczenia rakiety.

2. Opis wyprowadzeń



Rysunek 2.1. Opis wyprowadzeń Arecordera.

1. wejście zasilania
2. złącze dodatkowego brzęczyka
3. złącze wyboru zestawu ustawień
4. złącze karty micro SD
5. złącze programujące mikrokontroler
6. złącze programujące parametry Arecordera
7. wyzwalanie zapalników

2.1. Zasilanie

Jako zasilanie może być wykorzystane dowolne źródło napięcia w zakresie 4 - 10 V o niskiej impedancji (tj. mogące oddać duży prąd). Jeśli Arecorder jest wykorzystywany wyłącznie jako rejestrator danych (nie ma wyzwalać zapalników i nie są one do niego podłączone), to zasilać go można dowolnym źródłem napięcia w zakresie 3,8 - 10 V.

Zalecane zasilanie to jedno lub dwa ogniwa LiPo (w przypadku pojedynczego ogniwa powinno ono być w pełni naładowane).

Zobacz też podrozdziały 5.2 i 5.1.

2.2. Złącze dodatkowego brzęczyka

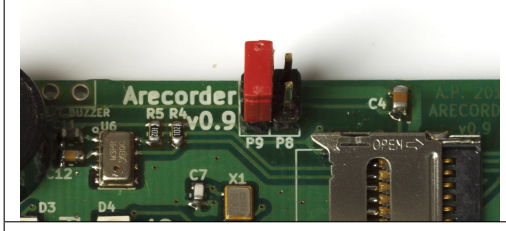
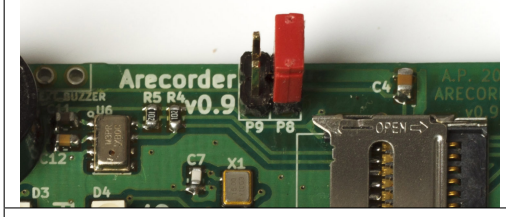
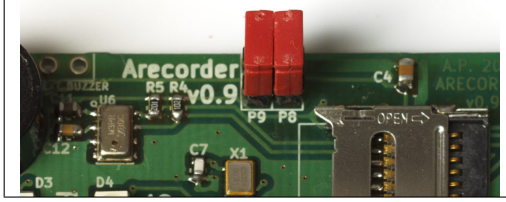
Do złącza dodatkowego brzęczyka można dołączyć dowolny brzęczyk, który może być zasilany stałym napięciem. Maksymalne napięcie zasilania dołączanego brzęczyka musi być większe niż napięcie zasilania Arecordera. Dodatkowy brzęczyk powinien być stosowany jedynie w sytuacji, gdy głośność wbudowanego brzęczyka jest niewystarczająca.

2.3. Złącze wyboru programu

Złącze wyboru zestawu ustawień służy do wyboru jednego z czterech programów - zestawów zaprogramowanych wcześniej ustawień, za pomocą zworek. Ustawienia, które są zmieniane w zależności od wyboru programu to:

— wysokość, na jakiej ma zostać wyzwolony spadochron główny,
— wysokość wyrzutni,
— opóźnienie włączenia silnika drugiego stopnia po zakończeniu pracy silnika pierwszego stopnia.

Tabela 2.1. Wybór numeru programu za pomocą zworek

	numer programu
	1
	2
	3
	4

2.4. Złącze karty micro SD

Do złącza karty SD należy włożyć kartę micro SD (bardzo zalecana jest karta micro SDHC). Na tę kartę będą zapisywane wszystkie pomierzone dane. Arecorder jest w stanie zapisać pliki o numerach od 1 do 99 na jednej karcie (każde włączenie Arecordera powoduje utworzenie dwóch plików o takich samych numerach - jednego pliku z danymi i jednego pliku z podsumowaniem lotu), zaleca się jednakże formatowanie karty przed każdym lotem.

Zaleca się formatowanie karty SD przed każdym lotem, jednakże nie jest to konieczne.

2.5. Złącze programujące mikrokontroler

Złącze programujące mikrokontroler jest używane do aktualizacji oprogramowania Arecordera. Użytkownik nie powinien używać tego złącza.

2.6. Złącze programujące parametry Arecordera

Do złącza programującego parametry Arecordera można podłączyć komputer PC, na którym został zainstalowany program AreConfig. Umożliwi to zmiany nastaw konfiguracyjnych Arecordera, wpisanie imienia, nazwiska oraz numeru telefonu właściciela oraz przetestowanie wyzwalania zapalników.

Do tego złącza zostało wyprowadzone wyjście UART mikrokontrolera, które wysyła dane w standardzie RS-232 (poziomy logiczne CMOS). Parametry połączenia to baudrate 115200, 8 bitów danych, brak parzystości, jeden bit stopu, brak kontroli przepływu.

Arecorder próbkuje złącze tylko raz, podczas włączenia. Późniejsze wyjęcie lub włożenie zworek nie spowoduje zmiany ustawień.

2.7. Wyzwalanie zapalników

Zapalniki powinny być dołączone do odpowiedniego wyjścia (PAR1, PAR2 lub STG2, które oznaczają wyzwolenie zapalników odpowiednio spadochronu-pilota, spadochronu głównego oraz drugiego członu rakiety).

Każdy z zapalników jest dołączony do zasilania dodatniego oraz do drenu odpowiadającego mu tranzystora. W przypadku wyzwolenia zapalnika, tranzystor jest włączany, co powoduje dołączenie do zapalnika masy zasilania i przepływ prądu o dużym natężeniu (zależnym od źródła zasilania).

Do każdego z zapalników dołączony jest także dodatkowy tranzystor, którego włączenie powoduje przepływ niewielkiego prądu przez zapalnik oraz diodę LED. Prąd ten jest zależny od napięcia zasilania i wynosi ok. 2-8 mA. Jest to zbyt mały

prąd, aby spowodował wyzwolenie zapalnika, a wystarczający, aby dioda LED zaświeciła się informując, że do danego wyjścia dołączony jest zapalnik.

3. Format danych zapisywanych na karcie SD

Dane są zapisane w formacie CSV, tj. poszczególne kolumny danych są oddzielone przecinkami a wiersze są oddzielone znakami nowej linii. Dane s takim formacie można otworzyć w dowolnym arkuszu kalkulacyjnym (przy importowaniu danych należy wybrać język angielski - spowoduje to prawidłowe rozpoznanie kropek jako znaków separujących części ułamkowe.

3.1. Format danych pliku z danymi pomiarowymi

Plik z danymi pomiarowymi dzieli się na trzy części - nagłówek, właściwe dane pomiarowe oraz dane podsumowujące.

3.1.1. Nagłówek

W nagłówku zapisane są dane konfiguracyjne oraz kalibracyjne Arecordera oraz imię, nazwisko i numer telefonu właściciela a także informacje o wersji Arecordera.

```
Hardware version,0.9
Software version,Aug 31 2013 16:24:10
Serial number,1
Owner name,Arkadiusz Palinski
Owner phone,+ 48 697-541-538
Configuration selected,1
X_1_g (24g),85
Hx_1_g (80g),24
X_0_g (24g),4
Hx_0_g (80g),-47
Y_0_g (24g),7
Z_0_g (24g),2
Hacc present,1
SecondEngineDelayTrigger [s],0
MainParachuteTriggerHeight [m],200
LaunchpadHeight [m],2
TemperatureOffset1 [deg],1
Pressure coefficient #1,44330.77
```

```
19 Pressure coefficient #2,0.1902632
20 Pressure at sea level [Pa],101325
21 Samples per second,100
22
23 seconds,1/100 of second,X_acc,Y_acc,Z_acc,HX_acc...
```

1. linia informująca o wersji płytki Arecordera,
2. linia informująca o wersji oprogramowania Arecordera (jest to czas, kiedy został skompilowany kod),
3. numer seryjny,
4. nazwisko właściciela tego egzemplarza Arecordera,
5. numer telefonu właściciela,
6. numer zestawu ustawień wybranych w chwili włączenia Arecordera,
7. liczba działek, o które zmieniają się wskazania akcelerometru ±24 g przy zmianie przyspieszenia o 1 g,
8. liczba działek, o które zmieniają się wskazania akcelerometru ±80 g przy zmianie przyspieszenia o 1 g,
9. dana kalibracyjna - wartość, jaką wskazuje oś X akcelerometru ±24 g, gdy mierzone przyspieszenie wynosi 0 g,
10. dana kalibracyjna - wartość, jaką wskazuje oś X akcelerometru ±80 g, gdy mierzone przyspieszenie wynosi 0 g,
11. dana kalibracyjna - wartość, jaką wskazuje oś Y akcelerometru ±24 g, gdy mierzone przyspieszenie wynosi 0 g,
12. dana kalibracyjna - wartość, jaką wskazuje oś Z akcelerometru ±24 g, gdy mierzone przyspieszenie wynosi 0 g,
13. informacja o wykryciu czujnika ±80 g,
14. opóźnienie odpalenia silnika drugiego stopnia rakiety po zakończonej pracy silnika pierwszego stopnia (w sekundach),
15. wysokość, na której powinien zostać wyzwolony spadochron główny (w metrach),
16. wysokość wyrzutni, z której rakieta startuje (w metrach),
17. dana kalibracyjna - wartość, która jest odejmowana od wskazań czujnika temperatury (dane zapisywane są już po korekcie, w stopniach Celsjusza),
18. wartość pierwszego współczynnika używanego przy obliczaniu ciśnienia,
19. wartość drugiego współczynnika używanego przy obliczaniu ciśnienia,
20. ciśnienie na poziomie morza (w Pa), wartość stała,
21. liczba zapisywanych pomiarów w ciągu sekundy,
23. opis poszczególnych kolumnach właściwych danych.

3.1.2. Właściwe dane pomiarowe

Dane właściwe składają się z następujących po sobie linii z danymi. W każdej linii poszczególne wartości są oddzielone od siebie przecinkami, wartości ułamkowe zapisywane są po kropce. Przykładowa linia danych wygląda następująco:

```
95,28,627,-6,-9,120,100088,100126,23.2,82.5,35.9,46.5,2,0.0,0
```

gdzie:

95,28	— czas w sekundach oraz w setnych częściach sekund,
627,-6,-9,120	— surowe dane przyspieszenia w osi X, osi Y, osi Z akcelerometru ± 24 g oraz w osi X akcelerometru ± 80 g,
100088,100126	— ciśnienie pomierzone bezpośrednio przez czujnik ciśnienia oraz ciśnienie po uśrednieniu przez filtr Kalmana, dane w [Pa],
23.2	— temperatura pomierzona przez czujnik temperatury znajdujący się na Arecorderze, dane w [°C]
82.5	— prędkość w osi rakiety obliczona przez Arecorder, dane w $[\frac{m}{s}]$
35.9	— wysokość wyliczana z ciśnienia, dane w [m],
46.5	— wysokość wyliczana z przyspieszenia, dane w [m],
2	— numer stanu, w którym aktualnie znajduje się Arecorder (patrz tabela 4.1),
0.0	— prędkość wyliczana z ciśnienia, zmienna pomocnicza obliczana tylko w stanie 7,
0	— zmienna pomocnicza obliczana tylko w stanie 7,

Linia danych kończy się znakiem nowej linii (czyli “enterem”).

3.1.3. Dane podsumowujące

Jest to kopia danych z pliku podsumowującego, patrz opis danych podsumowujących 3.2.

3.2. Format danych pliku z danymi podsumowującymi

Dane podsumowujące są to lista kilkudziesięciu najważniejszych parametrów charakteryzujących lot rakiety. Dane są zapisywane po wykryciu lądowania rakiety.

```
Kat rakiety podczas startu [stopnie],80.7
Cisnienie na poziomie ziemi [Pa],100552
Cisnienie na pulapie [Pa],95664
```

```
4  Predkosc w osi rakiety maksymalna [m/s],91.2
5  Wysokosc maksymalna (acc) [m],426
6  Wysokosc maksymalna (cisnienie) [m],417
7  Start rakiety [s],94.18
8  Koniec pracy silnika pierwszego stopnia [s],95.52
9  Wlaczenie silnika drugiego stopnia [s],95.63
10 Poczatek pracy silnika drugiego stopnia [s],104.62
11 Koniec pracy silnika drugiego stopnia [s],104.62
12 Czas osiagniecia pulapu [s],103.72
13 Czas osiagniecia minimalnej predkosci na pulapie [s],103.99
14 Czas odpalenia spadochronu-pilota [s],104.70
15 Czas odpalenia spadochronu glownego [s],125.76
16 Czas ladowania [s],161.00
17 Czas pracy silnika pierwszego stopnia [s],1.34
18 Czas pracy silnika drugiego stopnia [s],0
19 Czas lotu na pulap [s],9.54
20 Calkowity czas lotu [s],66.82
```

1. kąt, pod jakim pochylona jest rakieta na wyrzutni w chwili startu, dane w [°],
2. pomierzone ciśnienie na poziomie ziemi w chwili startu, w [Pa], dane po filtrze Kalmana,
3. pomierzone ciśnienie w najwyższym punkcie lotu, w [Pa], dane po filtrze Kalmana,
4. maksymalna wartość prędkości w osi rakiety wyliczanej przez Arecorder z przyspieszenia, dane w [$\frac{m}{s}$],
5. maksymalna wysokość osiągnięta przez rakietę, w [m], dane wyliczone na podstawie przyspieszenia,
6. maksymalna wysokość osiągnięta przez rakietę, w [m], dane wyliczone na podstawie ciśnienia,
7. czas, w którym został wykryty start rakiety, dane w [s],
8. czas, w którym został wykryty koniec pracy silnika pierwszego stopnia, dane w [s],
9. czas, w którym został odpalony zapalnik rozpoczynający pracę silnika drugiego stopnia, dane w [s],
10. czas, w którym został wykryty początek pracy silnika drugiego stopnia - wyzwolenie zapalnika nie jest jednoznaczne z rozpoczęciem pracy silnika drugiego stopnia, więc te dwa czasy są rozdzielone, dane w [s],
11. czas, w którym został wykryty koniec pracy silnika drugiego stopnia, dane w [s],

12. czas, w którym zostało wykryte osiągnięcie pułapu maksymalnego, dane w [s],
13. czas, w którym została wykryta minimalna prędkość rakiety po skończeniu pracy silników a przed wyzwoleniem spadochronu, dane w [s],
14. czas, w którym został odpalony zapalnik spadochronu-pilota, dane w [s],
15. czas, w którym został odpalony zapalnik spadochronu głównego, dane w [s],
16. czas, w którym zostało wykryte wylądowanie rakiety na ziemi (wykrycie następuje kilka sekund po faktycznym wylądowaniu), dane w [s],
17. czas pracy silnika pierwszego stopnia (różnica czasów początku i końca pracy silnika), dane w [s],
18. czas pracy silnika drugiego stopnia (różnica czasów początku i końca pracy silnika), dane w [s],
19. czas od chwili startu do osiągnięcia przez rakietę pułapu, dane w [s],
20. całkowity czas lotu rakiety (czas od chwili wykrycia startu do chwili wykrycia lądowania, z powodu opóźnienia w wykrycia lądowania, ten czas może być o kilka sekund za długi), dane w [s],

Dla danych od pozycji 7 do pozycji 16 czas jest podawany od chwili włączenia Arecordera.

4. Opis działania

Po włączeniu Arecorder jest w jednym ze zdefiniowanych stanów. Każdy stan oznacza inną część lotu rakiety i inne decyzje podejmowane przez Arecorder.

Tabela 4.1. Stany Arecordera

numer stanu	opis
0	oczekiwanie na inicjalizację
1	oczekiwanie na start rakiety
2	silnik pierwszego stopnia aktywny
3	silnik pierwszego stopnia się wyczerpał, oczekiwanie na minięcie opóźnienia odpalenia silnika drugiego stopnia
4	oczekiwanie na odpalenie silnika drugiego stopnia i jednoczesne oczekiwanie na osiągnięcie pułapu
5	silnik drugiego stopnia aktywny
6	silnik drugiego stopnia się wyczerpał, oczekiwanie na osiągnięcie pułapu
7	wyzwolono spadochron-pilot, oczekiwanie na wystąpienie warunku wyzwolenia spadochronu głównego
8	oczekiwanie na lądowanie
9	rakieta wylądowała
10	zatrzymanie zapisywania danych
11	pikanie brzęczyka

4.1. Obliczenia dokonywane przez Arecorder

Surowe dane pomierzone przez Arecorder to pomiary przyspieszenia w trzech osiach (± 24 g w trzech osiach oraz ± 80 g w osi rakiety), pomiary ciśnienia oraz pomiary temperatury (pomiar temperatury jako jedyny nie jest używany przez Arecorder do jakichkolwiek obliczeń). Te dane są zapisywane w postaci surowej (bezpośrednio odczytanej z czujników przez Arecorder, bez żadnej obróbki), jedynie temperatura jest konwertowana z pomierzonego napięcia na czujniku do wartości temperatury w [°C] dodawana jest do niej wartość korekcji.

Przed startem, Arecorder wylicza z przyspieszenia kąt, pod jakim rakieta jest pochylona na wyrzutni. Jest to kąt pomiędzy osią rakiety a powierzchnią ziemi.

Kąt ten jest używany do wyliczania wysokości osiągniętej przez rakietę oraz prędkości rakiety w czasie lotu; ważne jest więc dokładne umiejscowienie Arecordera we wnętrzu rakiety, aby oś Arecordera i oś rakiety były jak najbardziej do siebie zbliżone.

Kąt pochylenia rakiety jest cały czas aktualizowany, jeśli więc po włączeniu Arecordera a przed startem kąt pochylenia rakiety ulegnie zmianie, to kąt pochyłu rakiety zostanie zaktualizowany a zmiana uwzględniona. Po wykryciu startu rakiety kąt jest blokowany do czasu, aż rakieta opuści wyrzutnię. Następuje wtedy obliczanie kąta na podstawie przyspieszeń działających na rakietę (czyli ciągu silnika oraz grawitacji).

Na podstawie przyspieszenia w osi rakiety oraz kąta pochyłu rakiety podczas lotu, Arecorder wylicza prędkość rakiety w osi rakiety, prędkość wznoszenia się rakiety, wysokość, na jaką rakieta zdołała się wznieść oraz aktualizuje kąt pochyłu rakiety względem powierzchni ziemi. Prędkość rakiety jest wyliczana z akcelerometru ± 24 g, ale w przypadku, gdy pomierzone przez ten akcelerometr przyspieszenie będzie większe niż 20 g, to Arecorder będzie wyliczał prędkość korzystając z danych z akcelerometru ± 80 g.

Ciśnienie jest na początku filtrowane filtrem Kalmana, aby je odszumić. Następnie z ciśnienia wyliczana jest wartość wysokości pozycji startowej nad poziomem morza, względem której będzie obliczana wysokość, na którą wzleciała rakieta.

4.2. Stan 0 - oczekiwanie na inicjalizację

Po włączeniu zasilania, Arecorder wysyła poprzez złącze programujące parametry Arecordera informację, że został włączony. Po ok. jednej sekundzie Arecorder przechodzi albo w tryb “Lotu” albo w tryb “Konfiguracji” i pozostaje w tym trybie do wyłączenia zasilania.

Przed decyzją o wyborze trybu działania, Arecorder piszczy za pomocą brzęczyka numer wybranego zestawu ustawień, inicjalizuje czujniki, odczytuje zaprogramowane ustawienia zapisuje wartość ciśnienia (z której jest wyliczana wysokość 0 m) oraz rozpoczyna testowanie obecności zapalników (gdy testowanie obecności zapalników jest włączone, diody zaczynają się świecić przy zapalnikach, które zostały wykryte).

4.2.1. Tryb konfiguracji

Aby przejść w tryb konfiguracji, do Arecordera musi zostać dołączona przejściówka UART-USB, która będzie dołączona do komputera. Na komputerze musi być włączony program Areconfig i wybrany odpowiedni port, poprzez który będzie następowała konfiguracja.

W trybie konfiguracji można dokonać edycji ustawień Arecordera:

— wysokość, na której ma zostać wyzwolony spadochron główny,
— wysokość wyrzutni,
— czas pomiędzy końcem pracy silnika pierwszego stopnia a odpaleniem silnika drugiego stopnia,
— imię, nazwisko oraz numer telefonu właściciela.

Pomijając ostatnią pozycję, wszystkie ustawienia programuję się osobno dla czterech różnych zestawów ustawień wybieranych zworkami.

W trybie komunikacji Arecorder pozostaje cały czas w stanie mboxAWAITING_FOR_ARECORDER_READY.

Szczegółowy opis konfiguracji jest zamieszczony w instrukcji obsługi programu Areconfig - `http://www.palinski.org/Areconfig`.

4.2.2. Tryb Lotu

Gdy Arecorder nie odbierze żadnej komendy, to włącza tryb lotu. W tym trybie inicjalizowana jest karta SD i następuje utworzenie dwóch plików, do których będą zapisywane dane - pliku o nazwie MEASXX.CSV oraz SUMMXX.CSV, gdzie XX to numer nadawany kolejnym zapisywanym plikom z danymi na karcie SD; numery plików MEAS i SUMM są zawsze takie same. Przy każdym włączeniu Arecorder odczytuje czy na karcie są zapisane jakieś poprzednie pliki z danymi i tworzy nowe pliki z numerem większym o jeden od poprzednio zapisanego; Arecorder może w ten sposób zapisać do 99 plików na jednej karcie SD. Zaleca się jednak każdorazowe formatowanie karty przed każdym lotem.

Po zapisaniu plików na karcie, następują trzy piski buzzera - każdy z tych pisków oznacza obecność lub brak odpowiedniego zapalnika. Krótkim piskiem sygnalizowana jest obecność zapalnika, natomiast długim jego brak. Pierwszy pisk oznacza zapalnik spadochronu-pilota, drugi zapalnik spadochronu głównego, natomiast trzeci zapalnik drugiego stopnia rakiety.

Następnie następuje zapis do pliku MEAS danych konfiguracyjnych oraz jeden długi pisk informujący użytkownika, że od tej chwili Arecorder dokonuje pomiarów i wykrywa start, od tej chwili również dioda zielona dioda LED powinna zacząć migać. Po dziesięciu sekundach wyłączane jest testowanie zapalników (czerwone diody przestają migać). Arecorder przechodzi do stanu 1 - AWAITING_FOR_LAUNCH.

Arecorder za pomocą pisków brzęczyka informuje o wybranym zestawie ustawień, o dołączonych zapalnikach oraz o rozpoczęciu wykrywania startu rakiety. Przykładowo, następująca sekwencja pisków (krótka linia to krótki pisk, a długa linia to długi pisk, dłuższa przerwa oznacza zauważalnie dłuższą przerwę między kolejnymi sekwencjami pisków):

oznacza, że aktywny jest program drugi (wybrany jest drugi zestaw ustawień), wykryto zapalniki podłączone do obu spadochronów, ale nie do silnika drugiego stopnia, oraz, że Arecorder rozpoczął pomiary i rakieta może startować.

4.3. Stan 1 - oczekiwanie na start rakiety

W tym stanie Arecorder jest zainicjalizowany i próbkuje dane z czujników w celu wykrycia startu rakiety.

Start rakiety jest wykrywany, gdy rakieta wzniesie się na wysokość większą niż wysokość wyrzutni (wysokość wyrzutni jest programowana wcześniej). Na podstawie pomiarów przyspieszenia jest wyliczana prędkość rakiety oraz wysokość, na jaką rakieta się wzniosła. Dodatkowo, jeśli pomierzone przyspieszenie jest większe niż 1,2 g (tzn. rakieta wznosi się do góry z przyspieszeniem 0,2 g), to zostanie włączony brzęczyk informujący o potencjalnym starcie.

W tym stanie, jeśli nie jest wykryty start, następuje aktualizacja ciśnienia na poziomie ziemi oraz kąta, pod jakim rakieta jest pochylona.

Jeśli zostanie wykryty start rakiety, Arecorder zacznie zapisywać dane na kartę SD wraz z kilkunastoma próbkami danych przed startem. W chwili wykrycia startu zostanie również zapisany czas startu rakiety (do późniejszego pliku podsumowującego).

Po wykryciu startu, Arecorder przechodzi do stanu 2.

4.4. Stan 2 - silnik pierwszego stopnia aktywny

W stanie drugim rakieta leci i silnik pierwszego stopnia jest aktywny, tj. siła ciągu silnika jest większa od oporu aerodynamicznego rakiety (czyli rakieta zwiększa swoją prędkość). Przyspieszenie jest filtrowane, przez co pojedynczy pomiar nie spowoduje fałszywego zadziałania algorytmu.

W tym stanie zapisywany jest czas końca pracy silnika.

Po wykryciu końca pracy silnika, Arecorder przechodzi do stanu 3.

4.5. Stan 3 - silnik pierwszego stopnia się wyczerpał, oczekiwanie na minięcie opóźnienia odpalenia silnika drugiego stopnia

Stan trzeci to oczekiwanie, aż minie zaprogramowany czas opóźnienia; po tym czasie zostaje wyzwolony zapalnik drugiego stopnia rakiety.

Również i tym razem jest zapisywany czas - czas wyzwolenia zapalnika drugiego stopnia rakiety.

Po minięciu opóźnienia Arecorder przechodzi do stanu 4.

4.6. Stan 4 - oczekiwanie na odpalenie silnika drugiego stopnia i jednoczesne oczekiwanie na osiągnięcie pułapu

Stan czwarty to jednocześnie oczekiwanie na odpalenie silnika drugiego stopnia i oczekiwanie na osiągnięcie pułapu.

Jeśli ciąg silnika będzie większy niż opór aerodynamiczny rakiety, to znaczy, że silnik drugiego stopnia jest aktywny. Jeśli silnik drugiego stopnia jest aktywny, to blokowane jest wyzwolenie spadochronu-pilota. Jeśli silnik drugiego stopnia będzie aktywny przez co najmniej pół sekundy, to Arecorder przechodzi do stanu 5.

W przypadku braku silnika drugiego stopnia lub nieodpalenia silnika drugiego stopnia, przez cały czas badany jest warunek wyzwolenia spadochronu-pilota. Ten warunek został opisany w stanie 6 - 4.8, gdyż są one identyczne. W przypadku wyzwolenia spadochronu-pilota, Arecorder przechodzi do stanu 7.

W tym stanie jest zapisywany czas początku pracy silnika drugiego stopnia lub, w przypadku braku silnika drugiego stopnia (lub nieodpalenia silnika drugiego stopnia) zapisywany jest czas osiągnięcia maksymalnego pułapu oraz czas minimalnej prędkości rakiety.

4.7. Stan 5 - silnik drugiego stopnia aktywny

W stanie piątym Arecorder wykrył włączenie silnika drugiego stopnia i oczekuje na koniec jego pracy. W tym stanie nie jest możliwe wyzwolenie spadochronu.

Podobnie jak w stanie drugim, jeśli siła ciągu silnika jest większa od oporu aerodynamicznego rakiety, to Arecorder pozostaje w stanie 5, w przeciwnym przypadku Arecorder przechodzi do stanu 6.

W tym stanie zapisywany jest czas końca pracy silnika drugiego stopnia.

4.8. Stan 6 - oczekiwanie na osiągnięcie pułapu

Stan szósty to wykrywanie osiągnięcia pułapu rakiety. Arecorder bada czy ciśnienie zaczyna się zwiększać (co oznacza obniżanie wysokości, na której znajduje się rakieta). Jeśli ciśnienie po filtrze Kalmana przez jedną sekundę będzie większe niż najmniejsze zarejestrowane ciśnienie, to Arecorder podejmuje decyzję co do dalszego postępowania na podstawie wysokości wyliczonej z ciśnienia. Jeśli wysokość jest mniejsza niż 200 metrów, to spadochron-pilot jest wyzwalany natychmiast. Jeśli wysokość rakiety jest większa niż 200 metrów, to Arecorder czeka z wyzwoleniem spadochronu-pilota, aż wyliczona prędkość w osi rakiety spadnie do minimum.

W przypadku, gdy rakieta wystartowała pod dużym kątem w stosunku do płaszczyzny ziemi, prędkość osiowa rakiety po przekroczeniu pułapu może osiągnąć wartość na tyle dużą, że wyzwolenie spadochronu-pilota spowodowałoby jego zerwanie. Po osiągnięciu pułapu, tarcie powietrza może być na tyle duże, że prędkość w osi rakiety zmniejsza się mimo opadania rakiety (tuż po przekroczeniu pułapu oś rakiety jest niemal równoległa do płaszczyzny ziemi, przez co składowa grawitacji w osi rakiety jest mniejsza niż opór aerodynamiczny). Opóźnienie wyzwolenia spadochronu-pilota do czasu, aż prędkość w osi rakiety osiągnie wartość minimalną ma na celu zmniejszenie ryzyka zerwania spadochronu-pilota.

W tym stanie zapisywany jest czas osiągnięcia pułapu, czas osiągnięcia minimalnej prędkości oraz minimalne pomierzone ciśnienie, które jest używane do obliczenia maksymalnej wysokości.

Po wyzwoleniu spadochronu-pilota, Arecorder przechodzi do stanu 7.

4.9. Stan 7 - wyzwolono spadochron-pilot, oczekiwanie na wystąpienie warunku wyzwolenia spadochronu głównego

W stanie siódmym Arecorder bada zachowanie się rakiety po wyzwoleniu spadochronu-pilota. Jeśli rakieta opada na spadochronie, to spadochron główny jest wyzwalany, gdy rakieta opadnie poniżej zaprogramowanej wcześniej wysokości wyzwolenia spadochronu głównego (domyślnie 200 metrów).

UWAGA - Arecorder wyzwoli spadochron główny na zaprogramowanej wcześniej wysokości w odniesieniu do punktu startowego. Jeśli rakieta będzie opadać w miejscu, które jest położone wyżej nad poziomem morza niż miejsce startu, faktyczna wysokość względna, na której zostanie wyzwolony spadochron może być niższa niż zaprogramowana. Analogicznie, jeśli rakieta opada nad miejscem położonym niżej nad poziomem morza niż miejsce startu, faktyczna wysokość względna, na której zostanie wyzwolony spadochron główny może być wyższa niż zaprogramowana.

Po wyzwoleniu spadochronu-pilota działa równocześnie algorytm, który ma za zadanie wykrycie czy spadochron-pilot został wyzwolony prawidłowo. Jeśli Arecorder wykryje, że rakieta opada coraz szybciej, zostaje natychmiast wyzwolony spadochron główny. Po pięciu sekundach algorytm jest wyłączany ze względów bezpieczeństwa. Jeśli spadochron-pilot się nie wyzwolił, to algorytm wykryje to w przeciągu pięciu sekund. Jeśli zaś spadochron-pilot został wyzwolony, to wyłączenie algorytmu po pięciu sekundach zapobiega fałszywym wykryciom awarii spadochronu-pilota, gdy rakieta bezpiecznie opada.

W tym stanie Arecorder zapisuje czas wyzwolenia spadochronu głównego.

Po wyzwoleniu spadochronu głównego, Arecorder przechodzi do stanu 8.

4.10. Stan 8 - oczekiwanie na lądowanie

W tym stanie następuje badanie zmian ciśnienia w celu określenia czy rakieta wylądowała na ziemi. Ponieważ algorytm bada dane z filtru Kalmana, lądowanie może zostać wykryte nawet kilka sekund po faktycznym wylądowaniu rakiety.

W tym stanie Arecorder zapisuje czas wykrytego lądowania rakiety.

Po wykryciu lądowania, Arecorder przechodzi do stanu 9.

4.11. Stan 9 - rakieta wylądowała

Po wykryciu wylądowania rakiety, dla bezpieczeństwa Arecorder zapisuje jeszcze dziesięć sekund danych, po czym przechodzi do stanu 10. W stanie dziewiątym następuje również włączenie pikania brzęczyka.

4.12. Stan 10 - zatrzymanie zapisywania danych

W stanie dziesiątym następuje zatrzymanie zapisywania danych na kartę SD oraz zapis danych podsumowujących zarówno do pliku z danymi podsumowującymi jak i do pliku z danymi pomiarowymi. Gdy wszystkie dane zostaną zapisane, Arecorder przechodzi do stanu 11.

4.13. Stan 11 - pikanie brzęczyka

W tym stanie co sekundę pika brzęczyk. Arecorder pozostaje w tym stanie dopóki nie zostanie wyłączony.

5. Parametry techniczne

5.1. Absolutnie maksymalne parametry

UWAGA Obciążenia większe niż opisane jako *Absolutnie maksymalne parametry* mogą spowodować trwałe uszkodzenie Arecordera. To są tylko maksymalne obciążenia - prawidłowa praca Arecordera pod tymi obciążeniami lub większymi niż opisanymi jako *Parametry elektryczne* nie jest gwarantowana. Długotrwałe wystawienie Arecordera na działanie maksymalnych obciążeń może wpłynąć na niezawodność urządzenia.

Tabela 5.1. Absolutnie maksymalne parametry

Parametr	Min	Maks	Jednostka	Uwagi
Napięcie zasilania	-0,7	10,5	V	
Przyspieszenie	-	70	g	1), 2)
Ciśnienie	20	110	kPa	1)
Temperatura podczas pracy	-40	85	[°C]	1)
Temperatura podczas przechowywania	-40	125	[°C]	1)

1) nie przetestowane w praktyce,

2) w dowolnej osi.

5.2. Parametry elektryczne

Tabela 5.2. Parametry elektryczne

Parametr	Min	Typ	Maks	Jednostka	Uwagi
Napięcie zasilania	4	4,2	10,5	V	1)
	3,8	4,2	10,5	V	2)
Zakres mierzonego przyspieszenia	0	-	24	g	3)
	0	-	80	g	4)
Rozdzielczość mierzonego przyspieszenia	-	0,042	-	g	3)
	-	0,012	-	g	4)
Zakres mierzonego ciśnienia	20	-	110	kPa	
Rozdzielczość mierzonego ciśnienia	-	1,5	-	Pa	
Zakres mierzonej temperatury	-55	-	130	[°C]	5)
Rozdzielczość mierzonej temperatury	-	0,25	-	[°C]	

1) w przypadku, gdy Arecorder wyzwala zapalniki,

2) w przypadku, gdy Arecorder jedynie mierzy parametry lotu,

3) akcelerometr LIS331HH, wszystkie trzy osie,

4) akcelerometr MMA6519, jedna oś,

5) zakres pomiarowy czujnika temperatury przekracza zakresy pracy całego Arecordera,

5.3. Parametry fizyczne i mechaniczne

Tabela 5.3. Parametry fizyczne i mechaniczne

Parametr		Jednostka	Uwagi
Szerokość	25	mm	1)
Długość	74	mm	
Wysokość	14,5	mm	2)
Masa	15,6	g	

1) w przypadku podłączenia zapalników, należy zostawić dodatkową przestrzeń z boku Arecordera,

2) maksymalna wysokość elementu nad płytką wynosi 11 mm, pod płytką 2 mm, płytka ma grubość 1,5 mm,

6. F.A.Q. - Najczęściej zadawane pytania

Czy trzeba izolować komorę, w której znajduje się Arecorder, od przedziału spadochronowego?

Nie, zmiana ciśnienia w wyniku wyzwolenia zapalnika nie spowoduje nieprawidłowej pracy Arecordera. Wysokość maksymalna jest zapisywana przed wyzwoleniem zapalnika i zmiana ciśnienia spowodowana wyzwoleniem zapalnika nie zmieni tej wartości. Zaleca się jednakże izolowanie komory Arecordera od przedziału spadochronowego, gdyż może to zaburzać działanie algorytmu awaryjnego wyzwalania spadochronu głównego i, na małych wysokościach, przedwczesne wyzwolenie spadochronu głównego.

Czy zostaną zapisane jakieś dane jeśli podczas lotu rakiety nastąpi katastrofa i Arecorder ulegnie zniszczeniu?

Tak. Arecorder zapisuje dane na kartę SD co 200 ms. Jeśli podczas lotu Arecorder ulegnie zniszczeniu, to (zakładając, że karta micro SD ocaleje) zostaną zapisane wszystkie dane oprócz ostatnich 200 — 800 ms.