

Mikrofon MEMS MP34DT01-M

Termin MEMS jest kojarzony z technologią wytwarzania układów z elementami mechanicznymi o wymiarach rzędu kilkudziesięciu mikrometrów. Są to głównie czujniki wielkości nieelektrycznych: ciśnienia, przyspieszenia, położenia. Są to również miniaturowe pompy i sensory używane w medycynie do celów diagnostycznych, ale też generatory drgań. Jednym z urządzeń MEMS, które zyskały sobie sporą popularność są mikrofony akustyczne. Mikrofony wykonane w tej technologii mają małe wymiary (istotnie mniejsze niż elektretowe odpowiadniki), są przy tym tanie i niezawodne.

Pierwszym istotnym zastosowaniem, które się nasuwa jest wykorzystanie mikrofonów w smartfonach. Wspomniane już małe wymiary i niska cena powodują, że idealnie nadają się do urządzeń konsumenckich, w których istotna jest mała wysokość obudowy. Przyjęło się, że im cieńszy smartfon, tym lepszy. Dzięki miniaturowym wymiarom można też umieścić kilka mikrofonów w różnych miejscach obudowy i za pomocą algorytmów przetwarzania DSP poprawić jakość odbieranego sygnału akustycznego. Mikrofony MEMS można spotkać też w innych urządzeniach: tabletach, inteligentnych zegarkach (smartwatch) i urządzeniach sterowanych głosem.

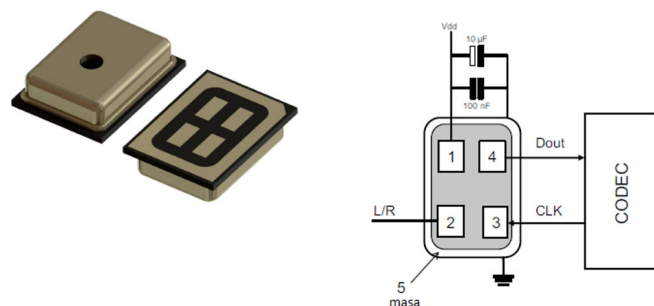
Mikrofon MP34DT01-M

Układ MP34DT01-M jest mikrofonem wykonanym w technologii MEMS przez firmę STM i pracuje w paśmie akustycznym. Użyta technologia powoduje, że ma subminiaturowe wymiary i jest energooszczędny. Najważniejsze parametry to :

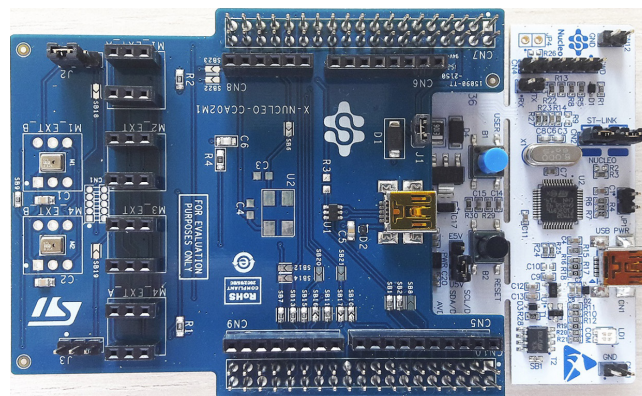
- Pojedyncze napięcie zasilania.
- Mały pobór mocy.
- Charakterystyka dookólna.
- Dynamika (stosunek sygnał/szum) S/N: 61 dB.
- Czułość: 26 dbFS.
- Maksymalny poziom sygnału akustycznego: 120 dB SPL.
- Interfejs cyfrowy: PDM.
- Obudowa SMD typu HCLGA (rysunek 1).

Szybkie przetestowanie działania mikrofonu umożliwia zestaw ewaluacyjny składający się z trzech elementów (fotografia 2):

1. Płytki ewaluacyjnej X-NUCLEO-CCA02M1. Ta płytka ma również wyprowadzenia w standardzie Arduino UNO i można



Rysunek 1. Obudowa i wyprowadzenia mikrofonu MP34DT01-M



Fotografia 2. Moduł X-NUCLEO-CCA02M1 połączony z NUCLEO-F401RE

jej użyć w połączeniu z modułem mikrokontrolera sprzętowo zgodnym z tym standardem.

2. Płytki ewaluacyjnej z mikrokontrolerem. Możliwe jest użyć jednego z trzech typów płytek z różnymi mikrokontrolerami: NUCLEO-F401RE, NUCLEO-F072RB i NUCLEO-L075R8.
3. Bezpłatnego oprogramowanie testowego X-CUBE-MEMSMIC1.

Zestaw X-NUCLEO-CCA02M1 ma zamontowane na stałe 2 mikrofony MP34DT01-M, ale istnieje możliwość dołączenia kolejnych mikrofonów za pomocą odpowiednich złączy zamontowanych na płytce. Przez te złącza można doprowadzić do układu mikrofony umieszczone na płytkach ewaluacyjnych STEVAL-MKI155 lub STEVAL-MKI129 (rysunek 3). Ponieważ nie dysponowałem płytkami rozszerzeń, to w trakcie testów nie były używane.

Oprogramowanie testowe X-CUBE-MEMSMIC1 można pobrać ze strony STM (rysunek 4). Zawiera projekty dla IDE: KEIL, IAR i SW4STM32 i modułów mikrokontrolerów NUCLEO-F401RE, NUCLEO-F072RB lub NUCLEO-L053R8. Projekty zawierają kompletne pliki źródłowe w języku C i można je modyfikować zależnie od potrzeb. W pakiecie X-CUBE-MEMSMIC1 zawarto też skompilowane pliki wynikowe dla każdej z wyżej wymienionych płytek NUCLEO.

X-CUBE-MEMSMIC1 zawiera trzy oddzielne aplikacje: Acoustic_BF, Acoustic_SL i Microphones_Straming. Dwie pierwsze wykorzystują zaawansowane algorytmy przetwarzania cyfrowych sygnałów reprezentujących sygnały audio z mikrofonów MEMS, a trzecia jest implementacją cyfrowego mikrofonu stereofonicznego. Zamieszczone w X-CUBE-MEMSMIC1 projekty zawierają gotowe (prekompilowane) i konfigurowalne biblioteki przetwarzania sygnałów.

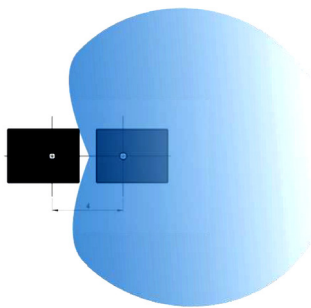
Aplikacja Acoustic_BF jest implementacją algorytmu adaptacyjnego przetwarzania w czasie rzeczywistym sygnałów w formacie



Rysunek 3. Płytki rozszerzeń z mikrofonami



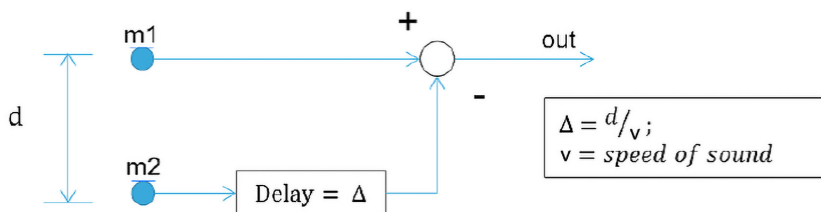
Rysunek 4. Pobieranie przykładowych projektów



Rysunek 5. Charakterystyka wirtualnego mikrofonu kierunkowego

PCM lub PDM uzyskanych z dwóch, lub czterech mikrofonów MEMS. W wyniku przetwarzania tych sygnałów jest tworzony wirtualny mikrofon kierunkowy wskazujący w określonym kierunku w przestrzeni. Możliwość konfiguracji działania algorytmów pozwala na znalezienie najbardziej odpowiedniego kompromisu pomiędzy jakością uzyskanego sygnału audio, a potrzebnymi zasobami użytego mikrokontrolera. Musi być znana odległość pomiędzy mikrofonami. Ze względu na wymagania algorytmów aplikację `Acoustic_BF` można uruchomić tylko na module NUCLEO-F401RE z mikrokontrolerem mającym wbudowaną jednostką FPU. Na **rysunku 5** pokazano przykładowa charakterystyka wirtualnego mikrofonu kierunkowego i rozmieszczenie mikrofonów MEMS.

Niebieski obszar to przybliżenie typowej kierunkowej charakterystyki kardoidalnej. Ta charakterystyka jest kształtowana na drodze programowej. Cyfrowy sygnał akustyczny z jednego z mikrofonów jest opóźniany i potem sumowany z nieopóźnionym sygnałem z drugiego mikrofonu (**rysunek 6**). Wartość tego opóźnienia zależy do odległości pomiędzy mikrofonami i jest wyliczana z zależności $\text{opóźnienie} = d/v$,



Rysunek 6. Cyfrowe kształtowanie charakterystyki kardoidalnej

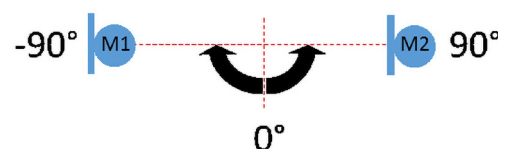
gdzie „d” to odległość pomiędzy mikrofonami, a „v” prędkość dźwięku w powietrzu. Więcej informacji na temat działania biblioteki implementacji mikrofonu kierunkowego o charakterystyce kardoidalnej z cyfrowych sygnałów pochodzących z dwóch mikrofonów MEMS typu MP34DT01-M można znaleźć w dokumencie UM2214 „Getting started with AcousticBF real-time beam forming middleware”.

Aplikacja AcousticSL zawiera implementację algorytmu lokalizacji źródła dźwięku w czasie rzeczywistym. Są tu wykorzystywane sygnały cyfrowe z dwóch lub czterech mikrofonów MEMS po to, by oszacować położenie w przestrzeni głównego źródła dźwięku. Wykrywanie położenia opiera się on na trzech różnych algorytmach DOA (Direction Of Arrival):

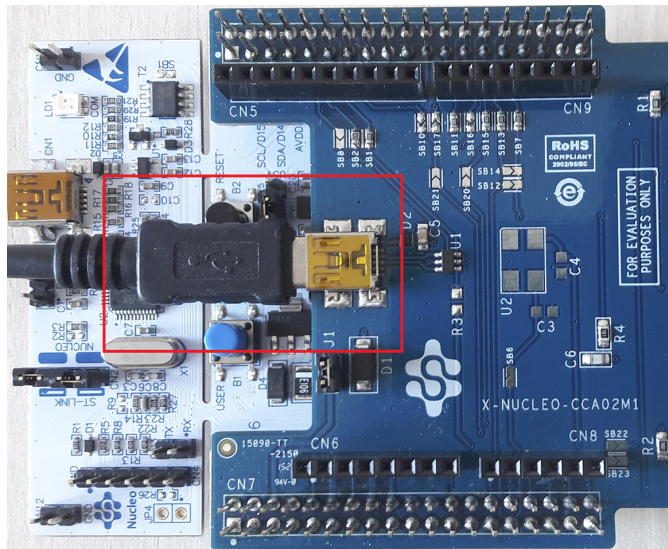
- Algorytm korelacji krzyżowej XCORR. Jest wykonywany w dziedzinie czasu, używa mniejszych zasobów mikrokontrolera, ma niższą rozdzielczość i wymaga umieszczenia mikrofonów w większych odległościach od siebie.
- Algorytm GCC-PHAT. Jest wykonywany w domenie częstotliwości, używa stosunkowo dużych zasobów mikrokontrolera, ma wysoką rozdzielczość.
- Algorytm BMPH. Jest wykonywany w domenie częstotliwości, zapotrzebowanie na zasoby mikrokontrolera mieszczą się pomiędzy wymaganiami algorytmów XCORR i GCC-PATH.

Rozmieszczenie mikrofonów dla aplikacji Acoustic SL zostało pokazane na **rysunku 7**. W wypadku algorytmu XCORR odległość pomiędzy mikrofonami musi umożliwiać wykonanie opóźnienia równego czasowi odpowiadającemu okresowi próbkowania. W algorytmie GCC-PATH teoretycznie nie ma ograniczeń odległości. Więcej informacji na temat aplikacji AcousticSL można znaleźć w dokumencie UM2212 „Getting Started With AcousticSL Real-Time Sound Source Localization Middleware”.

Aplikacja Microphones_Streaming jest przeznaczona do szybkiego testowania działania

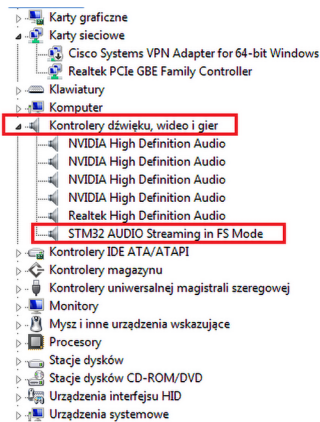


Rysunek 7. Rozmieszczenie mikrofonów



Fotografia 8. Podłączenie Kabla USB Do Złącza Modułu X-NUCLEO-CCA02M1

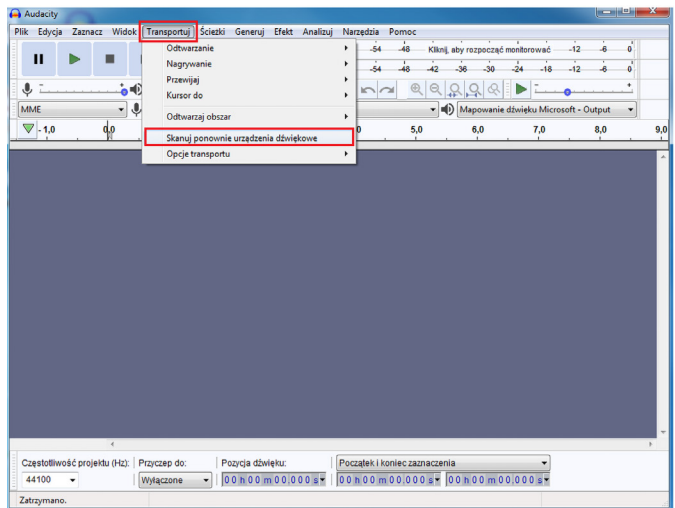
modułu ewaluacyjnego X-NUCLEO-CCA02M1 w połączeniu z jedną z dedykowanych płytek NUCLEO. W naszym wypadku będzie to NUCLEO-F401RE. Po wgraniu oprogramowania do pamięci mikrokontrolera zestaw będzie można połączyć z komputerem przez złącze USB. Będzie on wtedy pracował jak standardowy, wielokanałowy mikrofon USB. Do testów prawidłowego działania mikrofonu wykorzystamy popularny bezpłatny program Audacity.



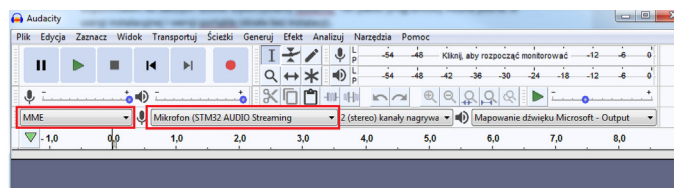
Rysunek 9. Wykryte urządzenie STM32 AUDIO Streaming in FS Mode

Zaczynamy od wgrania do modułu mikrokontrolera pliku z rozszerzeniem .Hex skompilowanego projektu zawartego w katalogu *STM32CubeExpansion_MEMSMIC1_V3.0.0/Projects/Multi/Applications/Microphone_Streaming/Binary/STM32F401RE-Nucleo*. Po zaprogramowaniu mikrokontrolera łączymy zestaw z komputerem przez złącze USB zamontowane na module X-NUCLEO-CCA02M1 (fotografia 8). Jeżeli mikrokontroler został prawidłowo zaprogramowany, to po podłączeniu do komputera moduł zostanie wykryty jako stereofoniczny mikrofon cyfrowy. System Windows pobierze przez Internet potrzebne sterowniki i w Menadżerze Urządzeń, w zakładce „Kontrolery dźwięku, wideo i gier” zostanie wyświetlone urządzenie STM32 AUDIO Streaming in FS Mode, jak to zostało pokazane na **rysunku 9**.

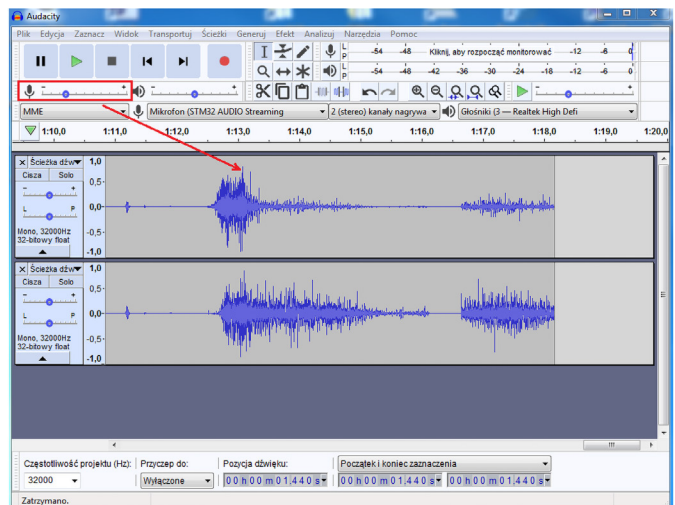
Jak już wspominałem, do dalszych testów wykorzystamy Audacity. Ten pakiet programowy można pobrać w wersji instalacyjnej i w wersji przenośnej (portable), działającej bez instalacji. Po uruchomieniu programu musi on znaleźć (wykryć) nasz mikrofon. Wykonujemy polecenie Transportuj → Skanuj ponownie urządzenia dźwiękowe



Rysunek 10. Polecenie wykrywania mikrofonów MEMS



Rysunek 11. Wykrycie mikrofonu MEMS



Rysunek 12 nagrywanie sygnału i regulacja poziomu sygnału z mikrofonów

(**rysunek 10**). Wykryty mikrofon powinien zostać wyświetlony w liście MME jako Mikrofon (STM32 AUDIO Streaming (**rysunek 11**). W trakcie nagrywania trzeba ustawić poziom sygnału z mikrofonu na wartość zapobiegającą przesterowaniu toru i powstawaniu zniekształceń, jak na **rysunku 12**. Wyregulowany tor pozwala na nagrywanie stereofonicznego dźwięku dobrej jakości. Pokazany tu tor audio jest przykładem na łatwą i tanią implementację mikrofonu cyfrowego z interfejsem USB.

Tomasz Jabłoński, EP

