

ULTRADŹWIĘKOWE SYSTEMY AKUSTYCZNE

Te systemy umożliwiają wysyłanie dźwięku w postaci bardzo skoncentrowanej wiązki, o rozbieżności od kilku do kilkunastu stopni.

Awszystko zawdzięczamy Tartiniemu. Któż to taki? Giuseppe Tartini (1692 – 1770) był włoskim skrzypkiem-wirtuozem i kompozytorem, a ostatnie lata swojego życia poświęcił podstawom teorii akustyki i harmonii. Był też pierwszym, który w swoim dziele „Trattato di Musica” (1754 r.) opisał efekt „trzeciego tonu”, powstającego przy odtwarzaniu dwóch dźwięków o różnej wysokości i dostatecznie dużym natężeniu. Tym samym wniósł ważny wkład w naukę akustyki, a zwłaszcza w dziedzinę sztuki muzycznej. „Trzeci ton” wynika z sumy lub różnicy częstotliwości dwóch podstawowych dźwięków. Słuch jest jednym z tych naszych zadziwiających zmysłów, które są w stanie wyczuwać subtelne różnice wysokości dźwięków, a Tartini jako pierwszy zwrócił uwagę na zjawisko tonów kombinacyjnych, które dlatego określa się jako „tony Tartiniego”.

Warto tutaj przypomnieć znane nam z fizyki zjawisko „dudnień”, które oznacza okresowe zmiany amplitudy drgania wypadkowego, powstające przy nałożeniu na siebie dwu drgań harmonicznym o zbliżonych częstotliwościach. Słyszalne dudnienia zależą od różnicy częstotliwości drgań podstawowych, kiedy staje się ona większa niż 15 Hz, to efekt ten zanika.

Technika, o której będzie mowa, powstawała ponad 50 lat temu w laboratoriach marynarki wojennej USA oraz b. ZSRR, a także w pracowniach naukowców japońskich, tam gdzie opracowywano sonary i systemy podwodnej łączności ultradźwiękowej. Łodzi podwodne wykorzystywały systemy łączności z modulacją ultradźwięków, jednakże do demodulacji sygnału potrzebne były specjalne odbiorniki.

Wiemy, że charakterystyka kierunkowości źródła dźwięku zależy od stosunku wielkości tego źródła do długości emitowanej fali. Zakresowi częstotliwości drgań 20 Hz ÷ 20 kHz odpowiadają fale o długości 16,5 m ÷ 1,6 cm. Dźwięki o długości

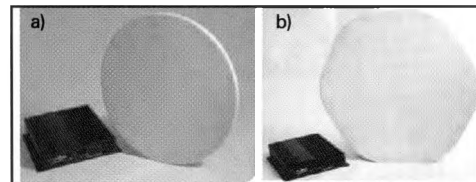
fali większej od obwodu membrany drgającej w konwencjonalnych głośnikach rozchodzą się równomiernie na wszystkie strony – jak kręgi na wodzie. Efekt kierunkowy można uzyskiwać w miarę wzrostu częstotliwości dźwięków, kiedy długość fali dźwiękowej jest mniejsza od rozmiarów membrany głośnika. Chcąc uzyskać bardzo skupioną wiązkę fal o najniższej częstotliwości akustycznej (20 Hz) należałoby wykonać głośnik o rozmiarach mających dziesiątki metrów! Dlatego w przypadku klasycznych systemów akustycznych trzeba szukać kompromisu wykorzystując kilka głośników na różne zakresy częstotliwości: dla niskich tonów, pasma środkowego i wysokich tonów. Głośniki odtwarzające niskie tony (basy) muszą mieć duże wymiary, zaś głośniki wysokotonowe (tweetyry) mogą być znacznie mniejsze.

W przypadku ultradźwięków o częstotliwości 200 kHz odpowiednia długość fali wynosi 16 mm i nie ma zasadniczych problemów przy realizacji przetwornika emitującego bardzo skupioną wiązkę. Trudno byłoby w tych celach wykorzystywać układy elektromechaniczne wzorowane na klasycznych głośnikach, ale na szczęście do dyspozycji mamy materiały piezoelektryczne.

System Audio Spotlight

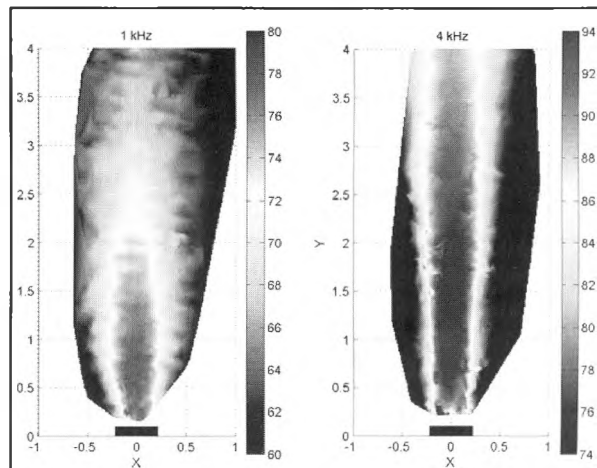
W 1998 r. dr F. Joseph Pompei, młody naukowiec renomowanego amerykańskiego ośrodka badawczego Massachusetts Institute of Technology, opublikował pracę, w której opisywał urządzenie z ultradźwiękową wiązką modulowaną sygnałem akustycznym. Do emitowania bardzo wąskiej wiązki fal ultradźwiękowych wykorzystywał przetwornik piezoelektryczny. Urządzenie to jest obecnie oferowane przez należącą do Pompei firmę Holosonic Research Labs, Inc. pod nazwą firmową *Audio Spotlight* (Akustyczny Reflektor). Demonstracja tego systemu podczas 105. konwencji Audio Engineering Society (1998 r.) spotkała się z ogromnym uznaniem największych światowych autoritetów w dziedzinie akustyki.

Audio Spotlight wykorzystuje z jednej strony możliwość emitowania fali ultradźwiękowej, modulowanej odpowiednio przystosowanym sygnałem częstotliwości akustycznej, w postaci wiązki o bardzo małej rozbieżności (stąd w nazwie urządzenia „reflektor”), a z drugiej – nieliniową charakterystykę powietrza, powodującą demodulację sygnału akustycznego. Osoba znajdująca się w polu modulowanej wiązki ultradźwiękowej dzięki demodulacji sygnału w powietrzu słyszy sygnał akustyczny. Ultradźwięków, których częstotliwość jest wielokrotnie wyższa od górnej granicy słyszalności, oczywiście nie słyszymy. Firma Holosonics oferuje dwa systemy

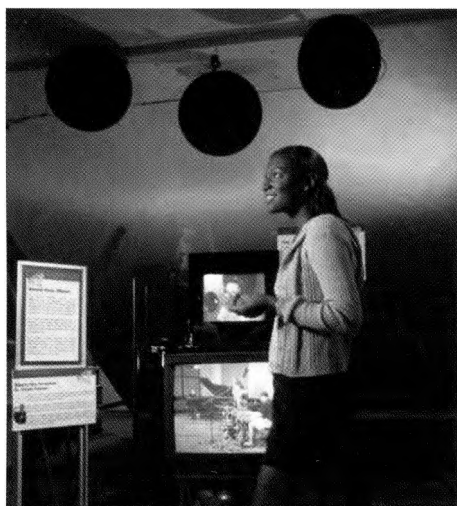


Rys. 1. Przetworniki firmy Holosonics: a – model AS-18, b – model AS-24

Audio Spotlight z przetwornikami (rys. 1): model AS-18 o średnicy tarczy 46 cm i mocy 100 W (maks.) oraz model AS-24 o średnicy ok. 60 cm i mocy 150 W (maks.). Grubość każdego z dysków wynosi pół cala (12,7 mm). Procesor sygnału wraz ze wzmacniaczem mieści się w obudowie aluminiowej o wymiarach 25 x 30 x 5 cm. Przetworniki mają masę niecałe 2 kg. Użyteczny zasięg dźwięku wynosi 20 metrów,



Rys. 2. Wykresy natężenia pola akustycznego przetwornika AS-18 firmy Holosonics Co. (wymary podano w metrach, skala natężenia pola – w jednostkach dB SPL).



Rys. 3. Wykorzystanie systemu Audio Spotlight w Bostońskim Muzeum Nauki

natomiast sygnał jest słyszalny nawet z odległości 200 m! Przewidywane jest wyposażenie przetwornika w laserowy celownik. Na rys. 2 przedstawiono podany przez firmę Holosonics Co. wykres natężenia pola akustycznego przetwornika AS-18 dla częstotliwości 1 i 4 kHz.

Systemy *Audio Spotlight* były wykorzystywane m. in. w Museum of Science w Bostonie (rys 3), aktywnie popularyzującym osiągnięcia nauki i techniki. Trzy lekkie dyski *Audio Spotlight* zamontowano na ścianie ponad ekspozycjami, skierowując emitowane przez nie wiązki w różnych kierunkach. Dzięki temu zwiedzający, przechodząc z jednego miejsca do drugiego, słyszeli różne przekazy dźwiękowe. Inną bardziej prestiżową imprezą było spotkanie światowych liderów politycznych z USA, Francji, Rosji, Niemiec, Japonii, Włoch i Kanady w ramach tzw. Szczytu „G8”, które odbyło się w roku 2004 w stanie Georgia. Do pokazów „unikalnych i innowacyjnych technologii” wybrano zaledwie 25 firm, m. in. także Holosonics Co. Ostatnio Walt Disney Company zakupiła systemy Holosonics, aby je wykorzystać w swoim parku rozrywki w Epcot Center.

System HyperSonic Sound

Nieco inny system o nazwie *HyperSonic Sound* (HSS) opracował utalentowany amerykański wynalazca-samouk Elwood G. Norris. System ten również wykorzystuje fale ultradźwiękowe do wytwarzania w powietrzu słyszalnego dźwięku i jest produkowany przez stworzoną przez Norrisa firmę American Technology Corp. (ATC). Firma oferuje w zasadzie dwa rodzaje głośników ultradźwiękowych różnej wielkości. Jeden z nich przedstawiono na rys. 4. Przetworniki piezoelektryczne sterowane są

przez specjalny układ wzmacniacza. Jedną z emitowanych wiązek odgrywa rolę sygnału odniesienia i jej częstotliwość wynosi 200 kHz. Częstotliwość drugiego sygnału zmienia się od 200,2 do 220 kHz – w zależności od przekazywanego sygnału akustycznego. Wzajemne oddziaływanie obu częstotliwości daje w efekcie słyszalny sygnał różnicowy. Z uwagi na fakt, że wiązka ultradźwiękowa jest bardzo skoncentrowana, subiektywnie odczuwana siła odbieranego dźwięku bardzo mało zmienia się przy oddalaniu się od głośnika. Przy wykorzystaniu dwóch emiterów ultradźwięków możliwe staje się nawet przekazywanie materiałów stereofonicznych.



Rys. 4. Głośnik ultradźwiękowy formy American Technology Corporation

Warto dodać, że firma ATC jest zaangażowana także w prace na potrzeby wojskowości i organów porządku publicznego. Chodzi m. in. o system HIDA (*High Intensity Directed Acoustics*), mogący emitować fale dźwiękowe o natężeniu dostatecznie wysokim do obezwładnienia człowieka. Z drugiej strony do firmy trafiły propozycje osób niewidomych dotyczące wykorzystania wiązek sygnalizacyjnych na przejściach dla pieszych. Taki kanał dźwiękowy pomógłby bezpiecznie przeprowadzić niewidomego przez niebezpieczne odcinki drogi.

Warto dodać, że firma ATC jest zaangażowana także w prace na potrzeby wojskowości i organów porządku publicznego. Chodzi m. in. o system HIDA (*High Intensity Directed Acoustics*), mogący emitować fale dźwiękowe o natężeniu dostatecznie wysokim do obezwładnienia człowieka. Z drugiej strony do firmy trafiły propozycje osób niewidomych dotyczące wykorzystania wiązek sygnalizacyjnych na przejściach dla pieszych. Taki kanał dźwiękowy pomógłby bezpiecznie przeprowadzić niewidomego przez niebezpieczne odcinki drogi.

System AudioBeam

Również znana firma Sennheiser dysponuje podobnymi systemami (rys. 5). Nowy rodzaj głośnika został zademonstrowany w 2001 r. Sennheiser oferuje system *AudioBeam*, który korzysta z projektora ultradźwięków składającego się ze 150 specjalnych przetworników piezoelektrycznych. System ten mieści się w obudowie o wymiarach 264 x 82 x 320 mm i masie ok. 3,1 kg. Moc wyjściowa wzmacniacza dochodzi do 100 W. Projektor ten również emituje dwa sygnały ultradźwiękowe: falę nośną o częstotliwości ok. 40 kHz oraz falę z szerokopasmową modulacją amplitudy zawierającą oryginalny sygnał akustyczny. Dźwięk może być słyszany dopiero w pewnej odległości od źródła, kiedy dzięki nieliniowości powietrza nastąpi demodulacja sygnału ultradźwiękowego. Pasma odbieranych częstotliwości zawiera się w granicach 700 Hz ÷ 12 kHz. Wiązka ultradźwiękowa może być bardzo skoncentrowana. Możliwe jest uzyskanie rozbieżności wynoszącej zaledwie 1°. Przy odchyleniu o 5°

od osi wiązki następuje spadek ciśnienia akustycznego około 20 dB. Przy odchyleniu o 15° sygnał jest praktycznie niesłyszalny.

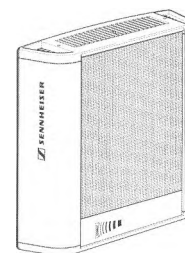
Zastosowania

Wszystkie omawiane systemy: *HyperSonic Sound* (HSS), *Holosonic*, czy *AudioBeam* pozwalają na wysyłanie dźwięku w postaci bardzo skoncentrowanej wiązki o rozbieżności od kilku do kilkunastu stopni. Użyteczny zasięg dochodzi do 200 m. Wiązka po odbiciu od jakiejś płaszczyzny stwarza wrażenie, że dźwięk pochodzi z punktu, w którym następuje jej odbicie. Robi to ogromne wrażenie zwłaszcza na zwiedzających przy oglądaniu obrazów w muzeach.

Wszystkie te szczególne właściwości głośników nowego rodzaju, wykorzystujących fale ultradźwięki, otwierają całkiem nowe obszary zastosowań. Przykładowo można podać następujące zastosowania.

W salach muzealnych i wystawowych projektor dźwiękowy mogą być umieszczane nad określonymi ekspozycjami. Dzięki temu objaśnienie może słuchać tylko osoba przyglądająca się danemu ekspozycjom. Zwiedzający przy sąsiednim ekspozycjach słyszą inną informację. W ten sposób unika się przeszkadzania innym zwiedzającym obecnym w tej samej sali (rys. 6).

W salach konferencyjnych zespoły głośników pozwalają przekazywać tłumaczenia obrad na różne języki w różne miejsca sali. Ratownicy na plażach nadmorskich mogą przy pomocy dźwiękowych reflektorów, emitujących bardzo wąską wiązkę, ostrzegać niesfornych pływaków, zaś trenerzy



Rys. 5. Głośnik ultradźwiękowy firmy Sennheiser

na boisku sportowym przekazywać ważne instrukcje wybranym zawodnikom.

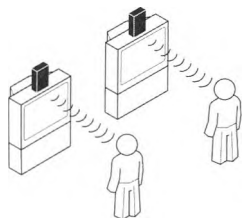
W przypadku nadzwyczajnych wydarzeń służby porządkowe będą mogły kierować polecenia do swoich funkcjonariuszy znajdujących się w określonych miejscach, lub do innych osób (np. ofiar lub przestępców).

Amerykańska Marynarka interesuje się tymi systemami, które umożliwiłyby zdalne wydawanie poleceń członkom załogi na lotniskowcach, którzy muszą pracować w warunkach szczególnie wysokiego poziomu hałasu.

Użytkownicy komputerowych stacji robo-

czych, pracujący obok siebie mogą korzystać z kierunkowych głośników zamiast kłopotliwych słuchawek, podobnie jak pacjenci unieruchomieni w szpitalnych łózkach.

Zrozumiałe są obawy, czy aby nowa technika nam nie zaszkodzi. Pomijając potencjalne zastosowania militarne, wszystko wydaje się wskazywać na to, że technika ta jest bezpieczna.



Rys. 6. Wykorzystanie skoncentrowanej wiązki dźwięku w sali muzealnej

Brak konkretnej wiedzy na temat wpływu ultradźwięków o dużym natężeniu na organizm człowieka spowodował, że prof. Joachim Herbertz (który nb. był przewodniczącym 1. Międzynarodowego Kongresu Ultradźwięków) przeprowadził z urządzeniami firmy Sennheiser odpowiednie badania. Nie wykazały one szkodliwego wpływu ultradźwięków na słuch, co pozwoliło na następującą konkluzję: „Ultradźwięki emitowane przez system *AudioBeam* są bezpieczne przy minimalnej odległości co najmniej 20 cm od siatki ochronnej przetwornika”. Nadal trwają prace nad doskonaleniem tych systemów, ale eksperci już przewidują ogromny wzrost zastosowań i sprzedaży, co pozwoliłoby na znaczne obniżenie ceny urządzeń.

Jerzy Chmielewski

Opracowano na podstawie materiałów z Internetu:

www.acoustics.org/press/133rd/2pea.html

www.holosonics.com/PR_MIOS.html, www.holosonics.com/technology.html

www.atcsd.com

www.woodynorris.com

www.usatoday.com/tech/news/techinnovations/2003-05-19-hss_x.htm

http://en.wikipedia.org/wiki/Sound_from_ultrasound

www.sennheiser.com