

## Akustyczne hologramy

Holografia optyczna znalazła bardzo wiele zastosowań. Choć matematyczny opis tej techniki może wydawać się skomplikowany, to jej idea jest bardzo prosta. Z codziennego doświadczenia wiemy, że trójwymiarową scenę można obserwować przez szybę. To oznacza, że na powierzchni szybki musi być dostępna informacja o tym, co przez nią można zobaczyć. Zmieniając kąt patrzenia, dostrzegamy trójwymiarowość sceny. Hologram to nic innego jak utrwalenie takiej informacji w taki sposób, że oświetlenie go falą płaską odtwarza falę, która „wychodziłaby” z jego powierzchni, gdyby scena za nią była. Analogia z szybą uzmysławia również jedną z najbardziej efektownych własności hologramu. Widok można odtworzyć również za pomocą jego fragmentu, tak jak całą scenę można zobaczyć przez fragment szybki. Jednak, ze względu na skończoną dokładność zapisu, widok odtwarzany przez coraz mniejsze fragmenty jest coraz mniej wyraźny.

Hologram akustyczny to podobna technika odtwarzania frontu fali dźwiękowej. Obecnie używa się szyku (macierzy) niezależnie modulowanych przetworników elektroakustycznych (ang. *phased array transducers* – *PATs*). Technika ta ma dwa ograniczenia i jedną dodatkową zaletę. Z jednej strony, nie pozwala na uzyskiwanie wysokiej rozdzielczości, a dążenie do jej maksymalizacji wiąże się z lawinowo rosnącymi kosztami. Z drugiej strony, pozwala na dynamiczną zmianę generowanej fali dźwiękowej. Należy zauważyć, że w takim przypadku akustyczny hologram istnieje tylko w postaci cyfrowego zapisu amplitudy, częstości i fazy sygnałów odtwarzanych przez poszczególne głośniczki.

Niedawno zademonstrowano [1], że rezygnacja z dynamiki pozwala na przezwyciężenie obu ograniczeń jednocześnie i to w zaskakująco prosty sposób. Chodzi o tworzenie materialnych hologramów, za pomocą których falę dźwiękową można odtworzyć, używając tylko jednego głośnika. Hologramy te nadal nie są rejestracją jakiejś fali, tylko powstają na podstawie obliczeń dotyczących tego, co chce się uzyskać. Z ich oraz trójwymiarowej drukarki pomocą tworzona jest płytka z materiału o innej prędkości rozchodzenia się dźwięku niż ośrodek, w którym efekt ma być obserwowany. Umieszczenie za płytką głośniczka, generującego płaską falę dźwiękową, daje oczekiwany rezultat. W tym miejscu wypada zakrzyknąć „szkoda, że Państwo tego nie widzą!” (Bez problemu jednak, przynajmniej część, zobaczyć można – [2]). Choć generowana fala nie zmienia się, to może służyć do manipulacji obiektami. Na początku filmu widzimy, jak malutki stateczek z papieru pływa w kółko po okrągłym wybrzuszeniu powierzchni płynu. Wykonalne jest uzyskanie różnych pól ciśnienia w różnych odległościach od hologramu. Zademonstrowane to zostało poprzez uzyskanie obrazów cyfr 1, 2 i 3 w centymetrowych odstępach. Można doprowadzić do lewitacji kropelek w powietrzu albo pozwolić im się rozbić i zwizualizować trójwymiarowe pole ciśnienia za pomocą ich rozprysku.

Autorzy pracy [1] wyrazili w wywiadach zdziwienie, że nikt przed nimi nie wpadł na podobny sposób tworzenia akustycznych hologramów. Wskazali również na szereg potencjalnych zastosowań proponowanej techniki. Jej głównymi zaletami są: zdolność rozdzielcza ograniczona jedynie długością fali dźwiękowej oraz niski koszt. Przewidują np., że pomysł może zostać użyty do bardziej precyzyjnego niż dotychczas ultradźwiękowego rozbijania kamieni nerkowych.

Jeszcze jednym sposobem efektownej wizualizacji fali dźwiękowej generowanej przez hologram jest migracja drobin do minimów ciśnienia akustycznego. Za jego pomocą autorzy pokazali tworzenie się kopii rysunku *Gołębia Pokoju* Picassa po włączeniu głośniczka i jego rozmazywanie po wyłączeniu.

## Piśmienne gołębie

Gołąb swoje symboliczne znaczenie zawdzięcza najprawdopodobniej nie tyle samemu udomowieniu gołębia skalnego kilka tysięcy lat temu, co przypuszczalnej tego korzyści: wybitnej zdolności powrotu do gniazda, od wieków wykorzystywanej do przekazywania informacji.

Fizyczne podstawy tej zdolności pomimo lat badań i wieków selekcji, nie są jednoznacznie poznane. Pewną rolę odgrywa magnetorecepcja, ale związek przyczynowo-skutkowy udało się wykazać jedynie przy odróżnianiu zwrotów do i od bieguna.

Przypuszcza się, że jednym z czynników jest zdolność rozpoznawania topografii. Możliwe, że wyewoluowała ona dzięki przewodze, jaką dawało skuteczne odnajdywanie gniazda ukrytego w skalnej ścianie.

Ostatnio wykazano, że gołębie nie tylko są „sposrzegawcze”, ale mają również zdolności ortograficzne. Ptaki zostały nauczone odróżniania kilkudziesięciu angielskich słów czteroliterowych od kilku tysięcy czteroliterowych zestawów liter niebędących poprawnymi słowami. Następnie, żeby sprawdzić, czy gołębie „tylko” zapamiętały słowa, czy też potrafią wybierać ortograficzne zestawy liter spośród nieortograficznych, zaczęto im pokazywać nieznanne zestawy. Prawidłowe angielskie słowa rozpoznawane były lepiej, niż wynikałoby to z losowości. Jest to pierwszy przypadek wykazania tego typu zdolności u nienaczelných.

Nie przeprowadzono dotąd badań, czy gołębie pocztowe zachowują tajemnicę korespondencji.

Piotr ZALEWSKI

[1] K. Melde, A.G. Mark, T. Qiu oraz P. Fischer; *Holograms for acoustics*; *Nature* **537**(2016)518-522; doi:10.1038/nature19755

[2] *Acoustic Holograms: Moving Objects With Sound*; <https://www.youtube.com/watch?v=WNZdCivNeJc>

[3] D. Scarfa, K. Boy, A. Uber Reinert, J. Devine, O. Gütürkün oraz M Colombo; *Orthographic processing in pigeons (Columba livia)*; *PNAS* (2016)201607870; doi:10.1073/pnas.1607870113