علم الأعصاب وعلم النفس
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 28 فبراير 2022
doi: 10.3389/frym.2018.00063-ar

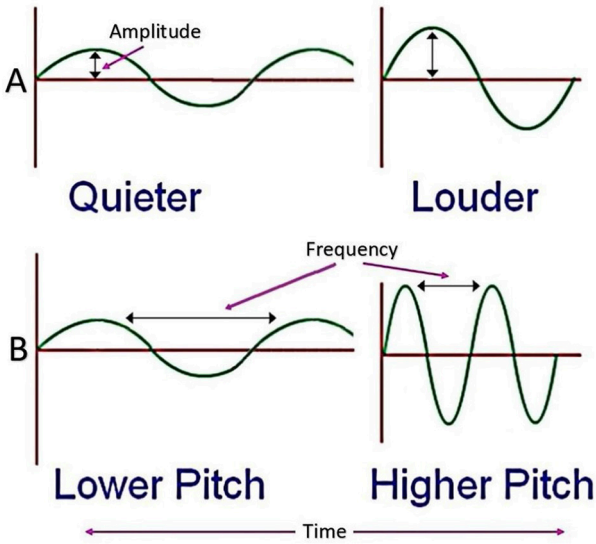
كيف لنا أن نُحدد أماكن الأصوات ومصادرها... إليك الجواب!

Daniel Henning, Edin Sabic and Michael C. Hout*
Psychology Department, New Mexico State University, Las Cruces, NM, United States

هل تساءلت من قبل كيف يمكننا بأذنين فقط تحديد أماكن الأصوات الصادرة من حولنا؟ أو عندما تلعب لعبة إلكترونية، لماذا يبدو أن صوت انفجار ما قد أتى من خلفك مباشرة رغم أنك تجلس بمأمن في منزلك؟ تستطيع أمخاخنا أن تحدد الأماكن التي تأتي منها الأصوات باستخدام عدة إشارات. ونذكر، من بين هذه الإشارات، هاتين الاثنتين: (1) أيُّ الأذنين يصلها الصوت أولًا، و(2) مدى ارتفاع الصوت عند وصوله إلى كل أذن. على سبيل المثال، إذا وصل الصوت إلى الأذن اليمنى أولًا، فمن المرجح أن يكون صادرًا من مكان يقع على يمين جسمك؛ أما إذا وصل إلى أذنيك في الوقت ذاته، فيدل هذا على أنه قادم من أمامك أو خلفك مباشرة. ويستخدم صنّاع الأفلام والألعاب الإلكترونية هذه الإشارات لخداع أمخاخنا؛ أي للإيحاء بأن أصواتًا معينة تأتي من اتجاهات معينة. يسلط هذا المقال الضوء على الكيفية التي يجمع بها المخ المعلومات من الأذنين ويستخدمها لتحديد المصدر الذي يأتي منه الصوت.

المراجعون الصغار:

ISABELLA
العمر:11



شكل 1

شكل 1

سعة الصوت وتردده ممثلة في شكل موجات. **(A)** تعرف سعة الصوت على أنها قوة الذبذبات أثناء انتقالها في الهواء؛ فكلما كانت سعة الصوت أكبر، كان الصوت الذي يستقبله المستمع أعلى. **(B)** والتردد هو السرعة التي تهتز بها الموجة الصوتية، والتي تحدد حدة الصوت الذي يتم استقباله. وكلما كان التردد أكبر، ارتفعت حدة الصوت.

العناصر المادية للصوت

إن قدرتنا على السمع ضرورية لتزويدنا بمعلومات عن العالم من حولنا. ينشأ الصوت عندما يُحدث جسم ما ذبذبات في الهواء من حوله؛ ويمكن تمثيل هذه الذبذبات في صورة موجة تنتقل عبر الفضاء. على سبيل المثال، إذا سقط فرع من شجرة واصطدم بالأرض، فسيتغير ضغط الهواء حول الفرع عند اصطدامه بالأرض، ومن ثم ينتج الصوت جراء اهتزاز الهواء بفعل الاصطدام. والأمر الذي لا يدركه الكثير من الناس أن الموجات الصوتية لها خواص مادية، ومن ثم فهي تتأثر بالبيئة التي تحدث فيها. على سبيل المثال، لا يمكن أن تحدث أصوات في الفراغ الفسيح في الفضاء، لأنه لا يوجد شيء في الفراغ الحقيقي ليحدث الاهتزازات، وبالتالي لا تتكون أي موجات صوتية. والتردد و**السعة** هما أهم خاصيتان ماديتان للصوت. ويعرف التردد بأنه السرعة التي تهتز بها الموجات الصوتية، وهو المسؤول عن تحديد **حدة** الصوت. والأصوات عالية التردد، مثل المزمار أو صوت الطيور، تكون حدتها أعلى، بينما تكون حدة الأصوات منخفضة التردد، مثل صوت البوق أو كلب كبير ينبح، أقل من سابقتها. ويمكن التعبير عن سعة الموجة الصوتية في ضوء قوة الذبذبات التي تنتقل عبر الهواء، وهي المسؤولة عن تحديد مدى ارتفاع الصوت الذي نستقبله. وكما موضح في الشكل 1، عندما تكون قمة الموجة الصوتية أصغر، يكون الصوت الذي نستقبله أكثر هدوءًا؛ أما إذا كانت القمة أكبر، فسيكون الصوت أكثر صخبًا. وقد يساعدنا تشبيه الموجات الصوتية بموجات البحر في فهم آلية عمل الموجات الصوتية. فإذا وقفت في ماء راكد وألقيت حصاة بالقرب من قدمك، فستجد أنها تحدث تموجًا (موجة ضئيلة)، ليس له تأثير كبير عليك. ولكن إذا وقفت في وسط المحيط في جو عاصف، فقد تكون الموجات الضخمة العاتية القادمة قوية بما يكفي لطرحك أرضًا! وعلى غرار حجم موجات البحر وقوتها، قد يكون لحجم الموجات الصوتية وقوتها تأثير كبير على ما تسمعه.

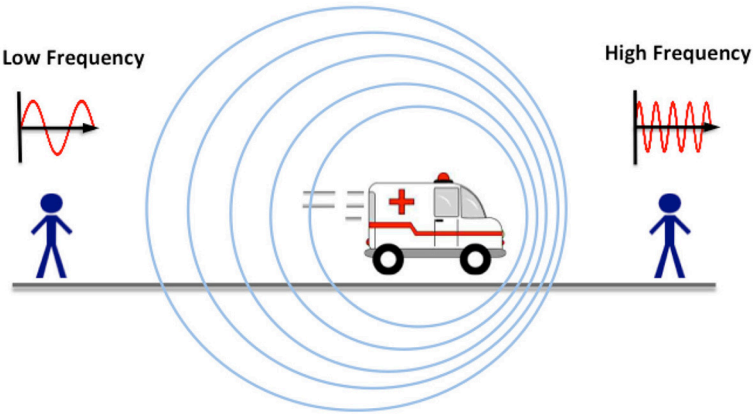
سعة الصوت (AMPLITUDE)

تشير إلى حجم الموجات الصوتية، وهي الصفة التي تؤثر في مدى ارتفاع الصوت الذي يتم استقباله.

حدة الصوت (PITCH)

جودة الصوت التي نشعر بها بدلالة التردد أو سرعة الذبذبات؛ ودرجة ارتفاع أو انخفاض النغمة أو الصوت الذي يتم استقباله.

تتفاعل الموجات الصوتية مع البيئة المحيطة بنا بطرق مدهشة. هل لاحظت من قبل كيف يختلف صوت صفارة إنذار سيارة الإسعاف في حال بعدها عنك مقارنة بما إذا اقتربت منك ومرت بجوارك؟



شكل 2

كيف تتأثر (وتُستقبل) ترددات الموجات الصوتية؛ مثل صفارة إنذار سيارة الإسعاف حال اقترابها من الفرد أو ابتعادها عنه. عندما تقترب سيارة الإسعاف من شخص، يزداد تردد الصوت، ومن ثم يُستقبل باعتباره ذا حدة عالية. ولكن، عندما تبتعد سيارة الإسعاف عن الفرد، ينخفض تردد الصوت، فيشعر به المستقبل باعتباره منخفض الحدة.

ويرجع السبب في ذلك إلى أن الصوت يستغرق وقتًا في الانتقال من نقطة لأخرى، وتتفاعل حركة مصدر الصوت مع تردد الموجات خلال طريقها إلى الشخص الذي يسمعها. وعندما تبتعد سيارة الإسعاف، يكون تردد الصفارة منخفضًا؛ ولكنه يزداد كلما اقتربت منك، وهي ظاهرة تعرف باسم **تأثير دوبلر** (انظر الشكل 2).

تأثير دوبلر
(DOPPLER EFFECT)

هو ارتفاع أو انخفاض في تردد الموجة الصوتية يحدث جراء اقتراب مصدر الصوت من المستقبل أو ابتعاده عنه.

لا يتأثر الصوت بالمسافة فقط، وإنما بالأجسام الأخرى أيضًا. عُد بذاكرتك إلى وقت كان ينادي فيه شخص ما عليك من غرفة أخرى. لعلك لاحظت بالتأكيد أن سماع شخص ينادي عليك من غرفة أخرى أصعب من سماعه ينادي عليك وهو جالس بجوارك. لا تمثل المسافة التي بينكما السبب الوحيد في صعوبة سماع شخص ينادي من غرفة أخرى؛ حيث إن عملية السمع تكون أيضًا أصعب لأن الأجسام في البيئة المحيطة تمتص الموجات الصوتية. وعليه، فكلما كان الشخص الذي يناديك يقف على مسافة بعيدة عنك، زاد عدد الأجسام والأشياء العالقة في الطريق بينكما، ومن ثم يقل عدد الموجات الصوتية الذي يصلك. ونتيجة لذلك، قد تبدو الأصوات أكثر هدوءًا ومكتومة، حتى وإن كان الشخص ينادي بصوت مرتفع.

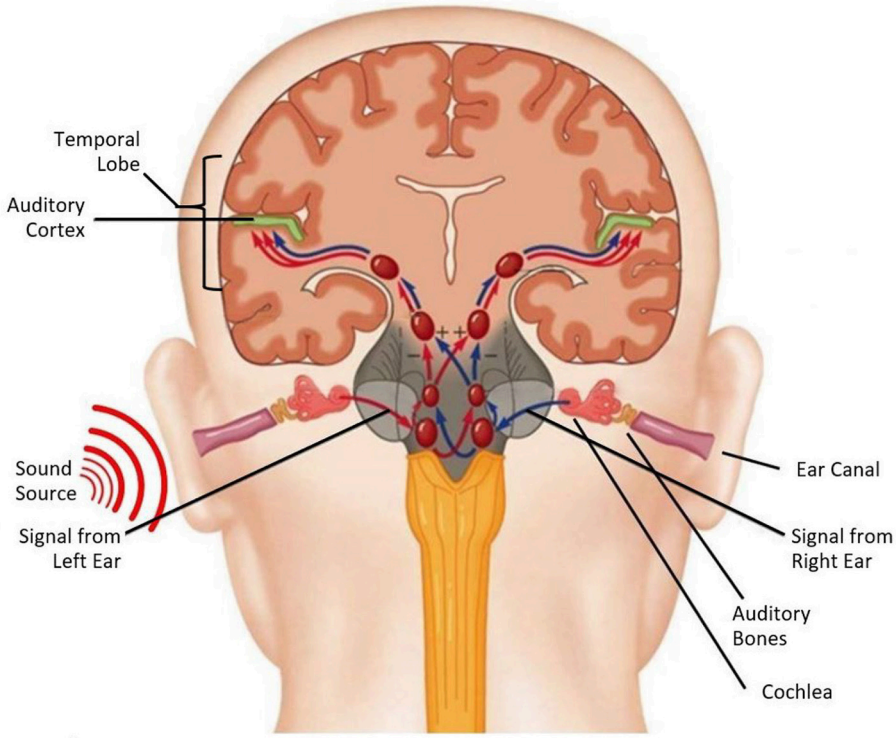
البنية التشريحية للأذن

تتسم الأذن ببنيتها التشريحية المعقدة، وهي تنقسم إلى ثلاثة أجزاء: الأذن الخارجية والأذن الوسطى والأذن الداخلية. والأذن الخارجية هي الجزء المرئي من الأذن، وهي مسؤولة بشكل رئيسي عن ضخ الأصوات من البيئة المحيطة إلى القناة السمعية. ومن هناك، ينتقل الصوت إلى الأذن الوسطى حيث يتسبب في اهتزاز طبلة الأذن وثلاث عظمات ضئيلة الحجم تسمى العظيمات، والتي تنقل طاقة الصوت إلى الأذن الداخلية. وتستمر الطاقة في الانتقال إلى الأذن الداخلية حيث تستقبلها **قوقعة الأذن.**

قوقعة الأذن
(COCHLEA)

أنبوب مجوف بالكامل تقريبًا في الأذن الداخلية عادةً ما يكون ملتفًّا مثل القوقعة، ويحتوي على الأعضاء الحسية للسمع.

يشير مصطلح قوقعة الأذن إلى بنية داخل الأذن تشبه القوقعة، وتحتوي على العضو الحلزوني (أو عضو كورتي) حيث توجد ``الخلايا الشعريّة'' الحسية التي بمقدورها استشعار طاقة الصوت. وعندما



شكل 3

رسم توضيحي لمصدر صوتي ينتقل داخل القناة السمعية ويتحول إلى إشارات عصبية تصل إلى القشرة السمعية. توجه الأذن الخارجية الصوت إلى داخل القناة السمعية، ثم يتحول بعد ذلك إلى إشارات عصبية من خلال قوقعة الأذن، ومن ثم تنتقل الإشارات إلى القشرة السمعية حيث تُمنح المعاني لتلك الأصوات.

تستقبل قوقعة الأذن الصوت، فإنها تضخم الإشارات التي تستشعرها بالاستعانة بالخلايا الشعريّة وتنقلها إلى المخ عبر العصب السمعي.

الصوت والمخ

الأذن هي المسؤولة عن استقبال الأصوات من البيئة، ولكن المخ هو المسؤول عن استشعار هذه الأصوات وإعطائها معانيها. تقع **القشرة السمعية** في منطقة في المخ تسمى "الفص الصدغي"، وهي المسؤولة عن معالجة الأصوات وتفسيرها (انظر الشكل 3). وتُمكّن القشرة السمعية البشر من معالجة الكلام وفهمه، فضلًا عن الأصوات الأخرى في البيئة. فماذا كان ليحدث لو لم تصل الإشارات من العصب السمعي إلى القشرة السمعية؟ حسنًا، عندما تتعرض القشرة السمعية إلى التلف بسبب إصابات المخ، قد يصبح الفرد أحيانًا عاجزًا عن فهم الأصوات؛ فمثلا قد لا يتمكن من فهم معاني الكلمات التي تقال، أو ربما لا يستطيع التمييز بين صوت آلتين موسيقيتين مختلفتين. وحيث إن أجزاء المخ الأخرى تكون نشطة أثناء عملية استقبال الأصوات، يظل الفرد المصاب بتلف القشرة السمعية قادرًا على التفاعل مع الصوت. ولكن يعجز المخ، في هذه الحالات، عن إضفاء معنى على هذه الإشارات الصوتية على الرغم من قيامه بمعالجة الصوت.

القشرة السمعية (AUDITORY CORTEX)

منطقة في المخ تقع في الفص الصدغي، وتقوم بمعالجة المعلومات التي تستقبلها بواسطة حاسة السمع.

سماع الأصوات من هنا أم هناك؟

إحدى الوظائف المهمة التي تؤديها أذن الإنسان، وأذن الحيوان أيضًا، هي قدرة كل منها على ضخ الأصوات من البيئة المحيطة إلى داخل القناة السمعية. وبالرغم من أن الأذن الخارجية تضخ الصوت داخل الأذن، فإن هذه العملية تكون أكثر فعالية حينما يكون الصوت قادمًا من جانب الرأس

(وليس من الأمام أو الخلف مباشرة). وعندما نسمع صوتًا من مصدر مجهول، يدير الأشخاص رؤوسهم بتلقائية لجعل آذانهم في الاتجاه المحتمل الذي يمثل مصدر الصوت. يفعل الناس هذا دون حتى انتباه أو إدراك؛ مثلما تكون في السيارة وتسمع صوت سيارة إسعاف، فإنك تدير رأسك لتحاول تحديد المكان الذي يأتي منه صوت صفارة الإنذار. وتتفوق بعض الحيوانات، مثل الكلاب، على البشر في قدرتها على تحديد أماكن الأصوات. بل وتستطيع الحيوانات (مثل بعض الكلاب والكثير من القطط)، في بعض الأحيان، تحريك آذانها جسديًا تجاه مصدر الصوت!

يستخدم الإنسان إشارتين مهمتين لتحديد المصدر الذي يأتي منه الصوت. وهاتان الإشارتان هما: (1) أيُّ الأذنين يصلها الصوت أولًا (وهو ما يعرف **بفرق التوقيت بين الأذنين**)، و(2) مدى ارتفاع الصوت حين يصل إلى كل أذن (وهو ما يعرف **بفرق حدة الصوت بين الأذنين**) . إذا وقف كلب إلى يمينك ونبح، فلن تواجه مشكلة في الاستدارة والنظر إلى ذلك الاتجاه، لأن الموجات الصوتية التي نتجت من النباح وصلت إلى أذنك اليمنى قبل اليسري، وهو ما جعلك تسمع الصوت أعلى في أذنك اليمنى. ولكن، لماذا يكون الصوت القادم من الجانب الأيمن أعلى في الأذن اليمنى؟ لأنه على غرار فكرة أن الأشياء أو الأجسام في منزلك تمتص صوت شخص ما ينادي عليك، فإن رأسك بمثابة جسم صلب يحول دون انتقال الموجات الصوتية إليك. وعندما تأتي الأصوات من الجانب الأيمن، سيمنع الرأس بعض الموجات الصوتية من الوصول إلى أذنك اليسرى، وهو ما يؤدي إلى استقبال الأذن اليمنى لصوت أعلى من اليسرى، ومن ثم تحديد المصدر الذي أتى منه الصوت.

فرق التوقيت بين الأذنين (INTERAURAL TIME DIFFERENCE)

يشير إلى الاختلاف في توقيت وصول الصوت الذي تستقبله الأذنان.

فرق حدة الصوت بين الأذنين (INTERAURAL INTENSITY DIFFERENCE)

يشير إلى الاختلاف في مدى ارتفاع الصوت الذي تستقبله الأذنان وتردده.

يمكن استكشاف هذا الأمر من خلال نشاط مرح. أغمض عينيك واطلب من أحد والديك أو صديقك أن يحرك مجموعة مفاتيح من مكان ما حول رأسك. كرر هذا الأمر عدة مرات، وحاول في كل مرة أن تحدد موقع المفاتيح، ثم افتح عينيك لترى مدى دقتك في تحديد مصدر الصوت. من الأرجح أن هذا الأمر سهل عليك. والآن أغلق أذنًا واحدة، وجرب الأمر ثانية. عندما تسمع بأذن واحدة فقط، ربما تشعر أن المهمة قد غدت أصعب، أو تجد نفسك أقل دقة في تحديد الاتجاه الصحيح. والسبب وراء هذا هو أنك قد كتمت إحدى الأذنين، وهو ما أضعف قدرتك على استخدام الإشارات الخاصة بتوقيت وصول الصوت إلى كل أذن وحدته.

التجارب الصوتية الغامرة في الألعاب والأفلام

عندما يقوم مهندسو الصوت بإنتاج **أصوات ثلاثية الأبعاد**، يجب أن يأخذوا في الاعتبار جميع الإشارات التي تساعدنا على تحديد مكان الصوت، كما يجب عليهم استخدام هذه الإشارات لإيهامنا بأن الأصوات تأتي من موقع محدد.

الصوت ثلاثي الأبعاد (THREEDIMENSIONAL AUDIO)

مجموعة من التأثيرات الصوتية التي تستخدم للتحكم فيما تصدره مكبرات الصوت أو السماعات، وتشمل تسكين مصادر الأصوات التي يتم استقبالها في أي مكان في فراغ ثلاثي الأبعاد.

وعلى الرغم من أن الأصوات ثلاثية الأبعاد تحوي عددًا محدودًا من المصادر الصوتية المادية التي تَبثّها السماعات أو المكبرات الصوتية (على سبيل المثال، يوجد في سماعة الأذن مصدران فقط)، فإن الصوت قد يبدو قادمًا من عدة أماكن أخرى. إذ يمكن لمهندسي الصوت ثلاثي الأبعاد أن يحققوا ذلك من خلال دراسة كيفية وصول الموجات الصوتية إليك بناءً على شكل الرأس وموقع الأذنين. فعلى سبيل المثال، إذا أراد مهندس الصوت أن يصدر صوتًا باعتباره قادمًا من أمامك مع ميل طفيف إلى اليمين، فسيقوم بتصميم الصوت بدقة بحيث يبدأ أولًا بتشغيل الصوت في السماعة اليمنى، على أن يكون أكثر ارتفاعًا في هذه السماعة عنه في السماعة اليسرى.

وتصبح الألعاب الإلكترونية والأفلام أكثر تشويقًا وشبيهة بالحياة الواقعية حين يتم دمجها مع هذه الخدع من الأصوات ثلاثية الأبعاد. فحينما تشاهد فيلمًا، على سبيل المثال، يمكن لمجموعة من

مكبرات الصوت في صالة الأفلام أن تركز اتجاه الصوت على نحو يتيح تحقيق حالة من التزامن بين ما تشاهده وما تسمعه. على سبيل المثال، تخيل أنك تشاهد فيلمًا والممثلة تُجري مكالمة هاتفية على الجانب الأيمن من الشاشة؛ يبدأ حوارها في الأغلب من خلال مكبرات الصوت اليمنى، ولكن مع تحركها من اليمين إلى اليسار، يتبعها الصوت تدريجيًا وانسيابيًا. إن هذا التأثير نابع في الحقيقة من عدد من المكبرات التي تعمل بتزامن دقيق لجعل تأثير الصوت ثلاثي الأبعاد ممكنًا.

يأخذ الواقع الافتراضي (VR) هذه التجربة المثيرة إلى مستوى أعلى من خلال تغيير اتجاه الصوت بحسب الاتجاه الذي تنظر إليه أو في ضوء موقعك في الفراغ الافتراضي. ففي الواقع الافتراضي وكما يفيد التعريف، يتم وضعك افتراضيًا داخل مشهد ما بحيث تعكس التجربتان البصرية والسمعية التجربة التي تعيشها في العالم الحقيقي. وفي محاكاة ناجحة للواقع الافتراضي، يحدد اتجاه حركات رأسك والاتجاه الذي تنظر إليه المكان الذي تنظر إليه باعتباره مصدر الصوت. انظر مباشرة إلى سفينة فضاء وستجد أن صوت محركها يأتي مباشرة من أمامك؛ ولكن إذا اتجهت إلى اليسار فستجد أن الصوت قادم من على يمينك. وإذا انتقلت لتقف خلف جسم كبير، فستصطدم الموجات الصوتية بهذا الجسم بطريقة مباشرة بينما ستصطدم بك بطريقة غير مباشرة، ومن ثم يضعُف الصوت ويصبح مكتومًا وأكثر هدوءًا.

الخلاصة

استخدم العلماء الباحثون والمتخصصون في مجال صناعة الأفلام والألعاب الإلكترونية طريقة محاكاة الأصوات لمعرفة المزيد حول القدرة على السمع ولإثراء تجربتنا الترفيهية. ويركز بعض العلماء اهتمامهم على كيفية معالجة المخ للأصوات، بينما يحاول آخرون تحليل الخصائص المادية للموجات الصوتية؛ مثل كيفية ارتدادها أو آلية تشتتها، حتى إن بعض العلماء قاموا بدراسة القدرة السمعية للحيوانات، وقارنوها بالقدرات السمعية للبشر.

وفي المقابل، استخدم المتخصصون في مجال صناعة الأفلام والألعاب الإلكترونية هذه الأبحاث لتساعدهم في تقديم تجربة ترفيهية أكثر تشويقًا لمحبي الأفلام والألعاب الإلكترونية. وفي البيئات الافتراضية، يستطيع المصممون أن يجعلوا الموجات الصوتية الافتراضية تحدثّ بنفس طريقة الموجات الصوتية في الحياة الواقعية. فعندما تلعب لعبة إلكترونية أو تشاهد فيلمًا، فمن السهل أن تعتبر البحث والوقت المستغرقان في تكوين هذه التجربة أمرًا طبيعيًا ومسلمًا به. وربما سيستأنف قطار التقدم الخاص بتقنية التجارب الصوتية الغامرة رحلته من عندك؛ مدفوعًا بفضولك حول الموجات الصوتية وكيفية عمل النظام السمعي!

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 28 فبراير 2022

حرره: Robert J. Zatorre

مرشدو العلوم: Carmen Flores Nakandakare

الاقتباس: Henning D, Sabic E and Hout MC (2022) كيف لنا أن نُحدد أماكن الأصوات ومصادرها... إليك الجواب! Front. Young Minds
doi: 10.3389/frym.2018.00063-ar

مُترجَم ومقتبس من: Henning D, Sabic E and Hout MC (2018) Hear and There: Sounds From Everywhere! Front. Young Minds 6:63. doi: 10.3389/frym.2018.00063

إقرار تضارب المصالح: يعلن المؤلفون أن البحث قد أُجري في غياب أي علاقات تجارية أو مالية يمكن تفسيرها على أنها تضارب محتمل في المصالح.

COPYRIGHT © 2018 © 2022 Henning, Sabic and Hout.
هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص المشاركة الإبداعية Creative Commons Attribution License (CC BY). يُسمح بالاستخدام أو التوزيع أو الاستنساخ في منتديات أخرى، شريطة أن يكون المؤلف (المؤلفون) الأصلي أو مالك (مالكو) حقوق النشر مقيدًا وأن يتم الرجوع إلى المنشور الأصلي في هذه المجلة وفقًا للممارسات الأكاديمية المقبولة. لا يُسمح بأي استخدام أو توزيع أو إعادة إنتاج لا يتوافق مع هذه الشروط.

المراجعون الصغار

ISABELLA, العمر: 11
أُدعى إيزابيلا وعمري 11 عامًا. ولدت في نيويورك وأعيش في سويسرا. أحب الفن والغناء والرقص والعزف على البيانو. كما أحب العلوم والرياضيات والطبيعة. في العلوم، تستهويني جميع الموضوعات المتعلقة بالفضاء والوقت والمادة. ورياضتي المفضلة هي السباحة. في المستقبل، أتمنى أن أصبح مهندسة طيران وفضاء جوي. لدي نهم دائم لتعلم المزيد عن العالم من حولنا.

المؤلفون

DANIEL HENNING
طالب دكتوراة في علم النفس الهندسي في جامعة ولاية نيومكسيكو، ومهتم بدراسة الأصوات ثلاثية الأبعاد والواقع الافتراضي/المعزز. أهتم بتطبيق ما تعلمته لخلق بيئة صوتية أفضل من أجل تجربة افتراضية غامرة. ولأحقق ذلك، أتعلم كيفية تنفيذ تقنيات تعلم الآلة لجعل البرنامج الحاسوبي ``يتعلم'' ويساعد على ابتكار تمثيلات صوتية أكثر دقة.

EDIN SABIC
طالب دكتوراة في قسم علم النفس المعرفي في جامعة ولاية نيومكسيكو، حيث أدرس كيفية استخدام الناس للتكنولوجيا وفهمهم لها. ومؤخرًا، أصبحت مهتمًا بكيفية رصد اهتماماتنا لنعطي التكنولوجيا معلومات حول ما يستحوذ على انتباهنا، كما أود أن أجري دراسة حول قدرة الأشخاص الذين يعيشون في بيئات صاخبة الضوضاء على السمع. وفي وقت فراغي، أحب لعب كرة القدم وأستمتع بتعلم كل ما هو جديد حول الثقافات واللغات الجديدة.

MICHAEL C. HOUT
أستاذ مشارك في قسم علم النفس في جامعة ولاية نيومكسيكو ومحرر مشارك في دوريّة الانتباه والإدراك والصحة النفسية. تركز أبحاثي على موضوعات مختلفة، ولكنني أدرس البحث البصري (كيف يجد الأفراد الأشياء) وحركات العين (بأي اتجاه ولماذا نحرك أعيننا) بشكل رئيسي. في وقت فراغي المحدود، أحب أن ألعب مع كلبي، وأذهب في رحلات بالدراجة النارية وأحب النزهات والسفر ولعب رياضة الهوكي.
*mhout@nmsu.edu

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by
جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية
King Abdullah University of Science and Technology