حول عدم اكتمال إعادة بناء نايكويست-شانون: دليل تجريبي على المعلومات القابلة للاسترداد بين العينات في إشارات الصوت محدودة النطاق

حول عدم اكتمال إعادة بناء نايكويست-شانون: دليل تجريبي على المعلومات القابلة للاسترداد بين العينات في إشارات الصوت محدودة النطاق

Y. Tanaka, C. Ohm, R. Flux
Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)
Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

ملخّص
تضمن نظرية اختزال نايكويست-شانون إعادة بناء مثالية لإشارة محدودة النطاق من عينات مأخوذة بضعف عرض نطاقها. الإثبات سليم رياضياً. لكن الفرضية المركزية -- أن إشارات الصوت الحقيقية محدودة النطاق -- لم تُتحقق تجريبياً بالدقة المطلوبة. باستخدام نظام تسجيل 32 بت بأرضية ضجيج -198.2 ديسيبل، سجلنا 4,000 ساعة من المواد الموسيقية وأثبتنا وجود طاقة فوق نطاقية مرتبطة بالبرنامج في جميع الحالات. يمكن استرداد 0.008 إلى 0.3 بت لكل عينة من المعلومات التي تقول النظرية إنها غير موجودة.

1. مقدمة

نظرية اختزال نايكويست-شانون من أكثر النتائج استشهاداً في الهندسة. الكلمة "مثالياً" ليست مبالغة -- إثبات شانون دقيق.

لكن النتيجة مشروطة أيضاً. تنطبق النظرية على إشارات محدودة النطاق بشكل صارم. تثبت نظرية Paley-Wiener (1934) أنه لا يمكن لإشارة محدودة الزمن أن تكون محدودة النطاق.

كل أداء موسيقي محدود الزمن. لذلك لا يوجد تسجيل صوتي محدود النطاق بالمعنى الذي يتطلبه شانون.

لم نكن نبحث عن هذه النتيجة. ظهر الشذوذ في أول جلسة قياس واستمر عبر 18 شهراً من التحقيق.

2. المنهجية

صُمم نظام التسجيل لغرض واحد: توصيف المحتوى الطيفي فوق النطاق الذي تزيله مرشحات مكافحة الطي. استُخدم ميكروفون DPA 4006A بمعدل عينات 768 AKM AK5578 إلى 2 ميغاهرتز ومحول DC ومقدم تضخيم مخصص بنطاق كيلوهرتز.

لم يُستخدم مرشح مكافحة الطي -- عمداً.

أُجريت التسجيلات في 11 موقعاً على مدى 18 شهراً. إجمالي المادة: 4,000 ساعة اجتازت مراقبة الجودة.

3. النتائج

في جميع الـ 4,000 ساعة، وُجدت طاقة طيفية قابلة للقياس فوق 96 كيلوهرتز. تراوحت المستويات من -147.3 ديسيبل (هاربسيكورد منفرد) إلى -91.6 ديسيبل (مجموعة نحاسيات بميكروفونات قريبة).

في جميع r > 0.93 تجاوز الارتباط المتبادل بين غلاف الطاقة فوق النطاقية ومحتوى البرنامج تحت النطاقي التسجيلات.

استخرجت خوارزمية الاسترداد بين 0.008 بت (هاربسيكورد) و0.31 بت (نحاسيات) لكل عينة من المعلومات المتبادلة مع الإشارة فوق النطاقية الحقيقية. تجربة ضابطة بضجيج أبيض أنتجت 0.000 +/- 0.001 بت لكل عينة.

4. المناقشة

نظرية نايكويست-شانون ليست خاطئة. إثباتها صحيح. استنتاجها يتبع من فرضياتها.

الفرضية هي الخاطئة.

لا توجد إشارة صوتية حقيقية محدودة النطاق بالمعنى الذي يتطلبه شانون. المعلومات بين العينات هي تكملة بنسبة 0.6% للمحتوى المضمون من شانون. لكنها موجودة.

5. الخاتمة

قسنا الطاقة الطيفية لـ 4,000 ساعة من المواد الموسيقية فوق تردد نايكويست. في كل حالة، وُجدت طاقة مرتبطة بالإشارة وقابلة للقياس. هذه الطاقة جزء من الحدث الصوتي الأصلي وتُزال بشكل غير كامل بمرشح مكافحة الطي.

هذه النتائج لا تُبطل نظرية نايكويست-شانون. تثبت أن فرضية النظرية لا تتحقق بواسطة الإشارات الصوتية الحقيقية.

CONFIDENTIAL

المراجع

[1] C. E. Shannon, "الاتصال في وجود الضجيج," Proc. IRE, vol. 37, no. 1, pp. 10-21, 1949.

[2] H. Nyquist, "موضوعات معينة في نظرية الإرسال التلغرافي," Trans. AIEE, vol. 47, no. 2, pp. 617-644, 1928.

[3] R. E. A. C. Paley and N. Wiener, "تحويلات فورييه في المجال المركب," AMS Colloquium Publications, vol. 19, 1934.

[4] L. Kozachenko and N. Leonenko, "تقدير عيني لإنتروبيا متجه عشوائي," Problems of Information Transmission, vol. 23, no. 2, pp. 95-101, 1987.

[5] AKM Semiconductor, "AK5578 32-bit 768 kHz ADC datasheet," rev. 2, 2022.

CONFIDENTIAL