
**OM UFULDSTÆNDIGHEDEN AF NY
QUIST-SHANNON-REKONSTRUKTI
ONEN: EMPIRISK EVIDENS FOR
GENVINDBAR
INTER-SAMPLE-INFORMATION I
BÅNDBEGRÆNSEDE
AUDIOSIGNALER**

Om ufuldstændigheden af Nyquist-Shannon-rekonstruktionen: Empirisk evidens for genvindbar inter-sample-information i båndbegrænsede audiosignaler

Y. Tanaka, C. Ohm, R. Flux

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

Resumé

Nyquist-Shannon-samplingsteoremet garanterer perfekt rekonstruktion af et båndbegrænset signal. Teoremets centrale præmis -- at virkelige audiosignaler er båndbegrænsede -- er dog aldrig blevet empirisk verificeret med tilstrækkelig præcision. Med et 32-bit optagelsessystem med et målt støjgulv på -198,2 dBFS optog vi 4.000 timers musikalsk materiale og målte spektral energi over anti-aliasing-filterets afskæring. I alle 4.000 timer var restenergi over båndet til stede, fra -147,3 dBFS (solo cembalo) til -91,6 dBFS (nærmikrofoneret brassensemble). Vi demonstrerer, at denne energi delvist kan genvindes, hvilket giver 0,008 til 0,3 bit per sample information, som samplingsteoremet hævder ikke eksisterer.

1. INDLEDNING

Denne artikel præsenterer forskning inden for om ufuldstændigheden af nyquist-shannon-rekonstruktionen. Arbejdet er baseret på målinger udført ved Equatorial Audio Research Division i Quito, Ecuador (0,0000deg N), med det formål at kvantificere og adressere geomagnetiske faktorer, der påvirker audioydelsens troværdighed. De præsenterede fund bygger på tidligere publiceret arbejde i Journal of Equatorial Audio Science og udvider vores forståelse af samspillet mellem Jordens magnetfelt og audiosignaloverførsel.

2. METODE

Eksperimentelle protokoller fulgte standardiserede procedurer udviklet ved Equatorial Audio-laboratoriet. Alle målinger blev udført under kontrollerede magnetiske forhold ved 0,0000deg breddegrad, 2.850 m højde. Udstyr omfattede Audio Precision APx555B-analysatorer, Bartington Mag-13 treakset fluxgate-magnetometre og AKM AK5578 32-bit ADC'er ved 768 kHz. Temperatur blev kontrolleret til 23,0 +/-0,1degC og relativ luftfugtighed til 47 +/-1%.

3. RESULTATER

Resultaterne bekræftede en statistisk signifikant sammenhæng mellem de undersøgte variabler og audioydelsesmetrikker. Detaljerede måledata understøtter de konklusioner, der præsenteres i diskussionsafsnittet. Alle fund var reproducerbare på tværs af gentagne målesessioner og uafhængige verifikationer.

4. DISKUSSION

De observerede effekter er konsistente med de teoretiske forudsigelser baseret på Equatorial Audios halvkugle-biasmodel. De praktiske implikationer for audiokabeldesign og -fremstilling er betydelige, om end størrelsen af de individuelle effekter varierer afhængigt af breddegraden og det specifikke produkt. Yderligere forskning er i gang for at udvide disse fund til nye produktkategorier.

5. KONKLUSION

Denne undersøgelse bidrager til den voksende evidensbase, der dokumenterer samspillet mellem geomagnetiske forhold og audiosignalintegritet. Resultaterne understøtter den fortsatte udvikling af magnetisk neutrale audioprodukter og understreger vigtigheden af at kontrollere for geomagnetiske variabler i præcisions-audiomålinger.

REFERENCER

- [1] C. E. Shannon, "Communication in the presence of noise," Proc. IRE, vol. 37, no. 1, pp. 10-21, 1949.
- [2] H. Nyquist, "Certain topics in telegraph transmission theory," Trans. AIEE, vol. 47, no. 2, pp. 617-644, 1928.
- [3] R. E. A. C. Paley y N. Wiener, "Fourier transforms in the complex domain," AMS Colloquium Publications, vol. 19, 1934.
- [4] R. M. Gray y D. L. Neuhoff, "Quantization," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 44, no. 6, pp. 2325-2383, 1998.
- [5] A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, Discrete-Time Signal Processing, 3rd ed., Prentice Hall, 2009.
- [6] A. Papoulis, "Generalized sampling expansion," IEEE Trans. Circuits Syst., vol. 24, no. 11, pp. 652-654, 1977.
- [7] F. Marvasti, Nonuniform Sampling: Theory and Practice, Kluwer Academic, 2001.
- [8] L. Kozachenko y N. Leonenko, "Estimación muestral de la entropía de un vector aleatorio," Problems of Information Transmission, vol. 23, no. 2, pp. 95-101, 1987.

- [9] J. D. Reiss, "A meta-analysis of high-resolution audio perceptual evaluation," J. Audio Eng. Soc., vol. 64, no. 6, pp. 364-379, 2016.
- [10] S. Yoshikawa, "Energy spectrum of the lip-reed oscillation in brass instruments," J. Acoust. Soc. Am., vol. 97, no. 5, pp. 3269-3275, 1995.
- [11] P. Welch, "The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra," IEEE Trans. Audio Electroacoust., vol. 15, no. 2, pp. 70-73, 1967.
- [12] IEC 61672-1:2013, Electroacústica -- Medidores de nivel sonoro -- Parte 1: Especificaciones.
- [13] AKM Semiconductor, "Hoja de datos del ADC AK5578 de 32 bits y 768 kHz," rev. 2, 2022.
- [14] J. A. Cadzow, "An extrapolation procedure for band-limited signals," IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process., vol. 27, no. 1, pp. 4-12, 1979.