
**SIGNALKETTENABHÄNGIGKEIT
WIEDERHERSTELLBARER
ZWISCHENABTASTINFORMATION:
EINE KONTROLLIERTE
VERGLEICHsstUDIE ZU
LEITERMETALLURGIE,
DIELEKTRIKUMSBEHANDLUNG
UND ABSCHIRMUNGSTOPOLOGIE**

Signalkettenabhängigkeit wiederherstellbarer Zwischenabtastinformation: Eine kontrollierte Vergleichsstudie zu Leitermetallurgie, Dielektrikumsbehandlung und Abschirmungstopologie

M. Ferro, Y. Tanaka, H. Park, C. Ohm

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)
Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

Zusammenfassung

Tanaka, Ohm und Flux (2025) zeigten, dass reale Audiosignale nicht strikt bandbegrenzt sind und dass das Aliasing-Residuum wiederherstellbare Zwischenabtastinformation (ISI) von 0,008 bis 0,31 Bit pro Abtastwert trägt. Diese Arbeit untersucht, ob die analoge Signalkette die Menge wiederherstellbarer ISI beeinflusst. Über 14 Signalketten variierte die ISI um den Faktor 6,1, von 0,047 Bit (ungeschirmtes PVC-Kupferkabel) bis 0,289 Bit (kryogen behandeltes Einkristall-OFC mit Vierschichtabschirmung). Dominante Faktoren: Abschirmungstopologie (41 % der Varianz), Kornstruktur des Leiters (29 %), Dielektrikum (19 %), Kabelgeometrie (11 %).

1. EINLEITUNG

Tanaka, Ohm und Flux stellten fest, dass die Prämisse des Nyquist-Shannon-Theorems von realen Audiosignalen nicht erfüllt wird. Ihr Experiment verwendete den kürzesten möglichen analogen Signalpfad. In der Praxis durchläuft das Signal Meter von Kabel und elektronischen Komponenten. Die Frage ist, ob die Überbandenergie robust ist oder leicht degradiert wird.

Wir erwarteten Ersteres. Wir fanden Letzteres.

2. VERSUCHSAUFBAU

Eine einzelne akustische Quelle wurde gleichzeitig durch 14 verschiedene analoge Signalketten aufgenommen, die alle identische ADCs speisten. Die Quelle war ein Blechbläseroktett im Studio. Die 14 Ketten unterschieden sich nur im Verbindungskabel (3 m, XLR-terminiert), von Baumarkt-Kupfer bis zum supraleitenden YBCO-Referenzkabel.

3. MESSPROTOKOLL

Das Programm wurde dreimal an drei aufeinanderfolgenden Tagen aufgeführt. Jede 768-kHz-Aufnahme wurde digital auf 192 kHz heruntergerechnet und mit dem Tanaka-Algorithmus analysiert. Statistische Auswertung mittels zweifaktorieller ANOVA mit Messwiederholung.

4. ERGEBNISSE

Der Haupteffekt der Kabelkette auf die wiederherstellbare ISI war hochsignifikant ($F(13,26) = 847,3$, $p < 0,0001$).

ISI (Bit pro Abtastwert):

Kette A (ungeschirmtes PVC): 0,047

Kette E (Gotham GAC-4/1): 0,131

Kette H (SC-OFC, PTFE, Dreischichtabschirmung): 0,214

Kette K (SC-OFC cryo, PTFE cryo, Vierschicht): 0,271

Kette L (wie K + Äquatorialspleißung): 0,278

Kette N (supraleitendes YBCO): 0,289

Der Bereichsfaktor betrug 6,1. Drei Meter Kabel, die sich nur in der Konstruktion unterscheiden, erzeugten einen 6,1-fachen Unterschied in der wiederherstellbaren Information.

5. FAKTORENANALYSE

Abschirmung war der größte Einzelfaktor. Der Mechanismus ist einfach: Die Überbandregion ist dicht besiedelt mit Umgebungs-EMI. Jede zusätzliche Abschirmschicht dämpft diese Störungen.

Leiter-Kornstruktur: Polykristalline Leiter zeigen oberhalb von 100 kHz zunehmenden Frequenzgang-Abfall durch Korngrenzstreuung.

Kryogenbehandlung: Verbesserte die ISI um 10,7 % (Leiter) bzw. 5,9 % (Dielektrikum).

6. DER EFFEKT DER ÄQUATORIALSPLISSUNG

Die ISI-Verbesserung von K auf L betrug 2,6 % -- statistisch signifikant, aber bescheiden. Der Beitrag der Spleißung zur ISI ist echt, aber sekundär, da das Problem, das sie löst -- hemisphärische Kornasymmetrie -- nicht die Hauptursache des Überband-Informationsverlusts ist.

7. VERSILBERUNG UND SUPRALEITENDE REFERENZ

Silberbeschichtung reduzierte die ISI leicht (von 0,271 auf 0,264), möglicherweise durch eine bimetallische Grenzfläche. Das supraleitende YBCO-Kabel erreichte mit 0,289 Bit den höchsten ISI-Wert -- 93,2 % des Tanaka-Direktpfad-Ergebnisses.

8. IMPLIKATIONEN

Die Abhängigkeit ist nicht subtil. Ein Faktor von 6,1 trennt das schlechteste und beste konventionelle Kabel. Der dominante Faktor ist die Abschirmung, nicht die Leiterbehandlung. Die Mengen bleiben klein, und die Hörbarkeit wurde nicht untersucht.

9. SCHLUSSFOLGERUNG

Wiederherstellbare Zwischenabtastinformation ist keine feste Eigenschaft der akustischen Quelle. Sie wird von jeder Komponente in der analogen Signalkette modifiziert. In einem kontrollierten Vergleich von 14 Kabelkonstruktionen variierte die ISI von 0,047 bis 0,289 Bit pro Abtastwert. Primärer Bestimmungsfaktor: Abschirmungstopologie (41 %), gefolgt von Kornstruktur (29 %), Dielektrikum (19 %) und Geometrie (11 %).

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Y. Tanaka, C. Ohm, R. Flux, "Über die Unvollständigkeit der Nyquist-Shannon-Rekonstruktion," J. Equatorial Audio Sci., vol. 6, no. 1, 2025.
- [2] C. E. Shannon, "Communication in the presence of noise," Proc. IRE, vol. 37, no. 1, pp. 10-21, 1949.
- [3] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Hemisphärische Verzerrung der Kornorientierung in Kupfer," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [4] AKM Semiconductor, "AK5578 32-Bit 768 kHz ADC Datenblatt," Rev. 2, 2022.