

Önálló Laboratórium II

Aktív zajcsökkentés

Ébner Tibor

2007 Őszi félév

Feladatismertetés

- Problémafelvetés
- Adaptív modellezés
- Célkitűzések

Elméleti áttekintés

Szimulációk

Kitekintés

Feladatismertetés

Problémafelvetés

Feladatismertetés

- **Problémafelvetés**
- Adaptív modellezés
- Célkitűzések

Elméleti áttekintés

Szimulációk

Kitekintés

Aktív zajcsökkentés (Active Noise Control - ANC) mint az adaptív jelfeldolgozás egyik ígéretes alkalmazási területe.

- A lehetséges alkalmazások köre széles spektrumon mozog (akusztikai és mechanikai problémák).
- A potenciális előnyök jelentősek (pl. költségcsökkentés, „elérhető” zajvédelem).

A kiterjedt kutatások ellenére korlátozott eredmények. Mit lehet tenni?

- Fejlesszük a rendelkezésre álló eszközparkot (érzékelők, mikrofonok, átalakítók, processzorok stb.)!
- Kísérletezzünk többcsatornás rendszerekkel, különféle általános és problémaszpecifikus elrendezésekkel!
- Vizsgálódjunk tovább az adaptív rendszeridentifikáció tárgykörében!

Lássuk az utóbbi lehetőséget!

Adaptív modellezés

Feladatismertetés

- Problémafelvetés
- **Adaptív modellezés**
- Célkitűzések

Elméleti áttekintés

Szimulációk

Kitekintés

Amit már jól ismerünk mind elméletben, mind gyakorlatban:

- adaptív FIR modellek jellemzői;
- gradiens alapú FIR adaptációs algoritmusok konvergencia-tulajdonságai, tervezési szempontjai;
- direkt formájú adaptív szűrőrealizációk viselkedése.

Amit érdemes vizsgálni:

- racionális függvény alapú (IIR) adaptív modellek;
- alulmodellezett eset (adaptív approximáció);
- egyéb adaptív szűrőstruktúrák;
- egyéb, nem feltétlenül gradiens alapú adaptációs algoritmusok.

Célkitűzések

Feladatismertetés

- Problémafelvetés
- Adaptív modellezés
- **Célkitűzések**

Elméleti áttekintés

Szimulációk

Kitekintés

Eredeti célkitűzések:

- adaptív rekurzív (IIR) szűrők teljesítményének értékelése ANC problémákban;
- a másodlagos út ($\hat{S}(z)$) online identifikációja.

A múlt félév eredményei:

- az ANC probléma átlános megismerése, körüljárása;
- fejlett szimulációs környezet kialakítása MATLAB-ban.

Az idei félév menetrendje:

- alapos irodalomkutatás az adaptív rekurzív ANC tematikájában;
- az algoritmusok értékelése szimulációkkal.

Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

- Röviden az adaptív IIR szűrőkről
- Előnyök, hátrányok
- Adaptív rekurzív identifikáció
- Adaptációs algoritmusok

Szimulációk

Kitekintés

Elméleti áttekintés

Röviden az adaptív IIR szűrőkről

Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

● Röviden az adaptív IIR szűrőkről

● Előnyök, hátrányok

● Adaptív rekurzív identifikáció

● Adaptációs algoritmusok

Szimulációk

Kitekintés

Elméleti megfontolások alapján az IIR modellek a valós fizikai rendszerek pontosabb modellezését teszik lehetővé, mint a FIR modellek.

Az adaptív szűrés alapproblémája: Adott két sorozat $\{u(n)\}$ és $\{y(n)\}$, melyek között

$$y(n) = H(z)u(n) + \zeta(n)$$

teremt kapcsolatot. $\{\zeta(n)\}$ sztochasztikus folyamat, $\{u(n)\}$ -től statisztikusan független. $H(z)$ kauzális és stabil.

A cél $H(z)$ rekonstruálása (approximációja) a rendelkezésre álló $\{u(n)\}$ és $\{y(n)\}$ sorozatokból. Ezt egy adaptív racionális modell létrehozásával tesszük meg a következő módon:

$$\hat{H}(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_M z^{-M}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_M z^{-M}} \quad .$$

Előnyök, hátrányok

Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

- Röviden az adaptív IIR szűrőkről

- **Előnyök, hátrányok**

- Adaptív rekurzív identifikáció

- Adaptációs algoritmusok

Szimulációk

Kitekintés

Érvek az IIR modell alkalmazása mellett ANC környezetben:

- a szélessávú zajcsökkentési sémákban jelenlévő visszacsatolás egy IIR modellbe belevonható;
- akusztikus rendszerek modellezésére természetes módon adódnak az IIR szűrők (hangszórók, mikrofonok, teremakusztikai válaszok)

Nehézségek:

- konvergencia problémák (már léteznek konvergencia kritériumok);
- az identifikáció bizonyos hibakritériumok mellett nem egyértelmű (lokális minimumok);
- a konvergencia lelassulhat.

Adaptív rekurzív identifikáció

Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

- Röviden az adaptív IIR szűrőkről
- Előnyök, hátrányok
- **Adaptív rekurzív identifikáció**
- Adaptációs algoritmusok

Szimulációk

Kitekintés

- Kiterjedt irodalom a szabályozástechnikában és a jelfeldolgozásban.
- Túlnyomórészt direkt formájú szűrőstruktúrákra és „elégéses” modellezésre.
- „Alulmodellezett” eset \Rightarrow racionális approximációs probléma.
- Nem megfelelő szűrőstruktúra \Rightarrow potenciális numerikus instabilitás.
- Gradiens alapú adaptáció \Rightarrow beragadás lokális minimumokba (stratégiák?)

Adaptációs algoritmusok

Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

- Röviden az adaptív IIR szűrőkről

- Előnyök, hátrányok

- Adaptív rekurzív identifikáció

- **Adaptációs algoritmusok**

Szimulációk

Kitékintés

Sokféle algoritmus, különféle családokba sorolva. Többségük *gradiens* alapú.

- FuLMS: az FxLMS algoritmus közvetlen kiterjesztése IIR esetre.
- RLMS: az FuLMS algoritmus kifinomultabb változata, a parciális deriváltak kiszámítása rekurzív módon történik.
- SHARF: a hiperstabil algoritmusok családjának tagja. Egyszerűsítéseket tartalmaz az ANC probléma specialitásainak megfelelően.

A legígéretesebb ezek közül a SHARF. Konvergenciája bizonyos feltételek mellett biztosítható:

$$\Re \left\{ \frac{C(e^{j\omega})S(e^{j\omega})R(e^{-j\omega})}{A_0(e^{j\omega})} \right\} > 0, \quad \forall \omega,$$

ahol $C(z)$ a kompenzáló, $R(z) \equiv \hat{S}(z)$ a regresszor szűrő. (Speciális esetként tartalmazza az FuLMS és az FxLMS algoritmusokat is.)

Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

Szimulációk

- A szimulációk legbővebb modellje
- FuLMS vs. FxLMS
- FuLMS vs. RLMS
- Pólus kialakulása
- Adaptív zajszűrés
- Zajmentes identifikáció
- ANC szimuláció
- ANC szimuláció (2)

Kitékintés

Szimulációk

A szimulációk legbővebb modellje

Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

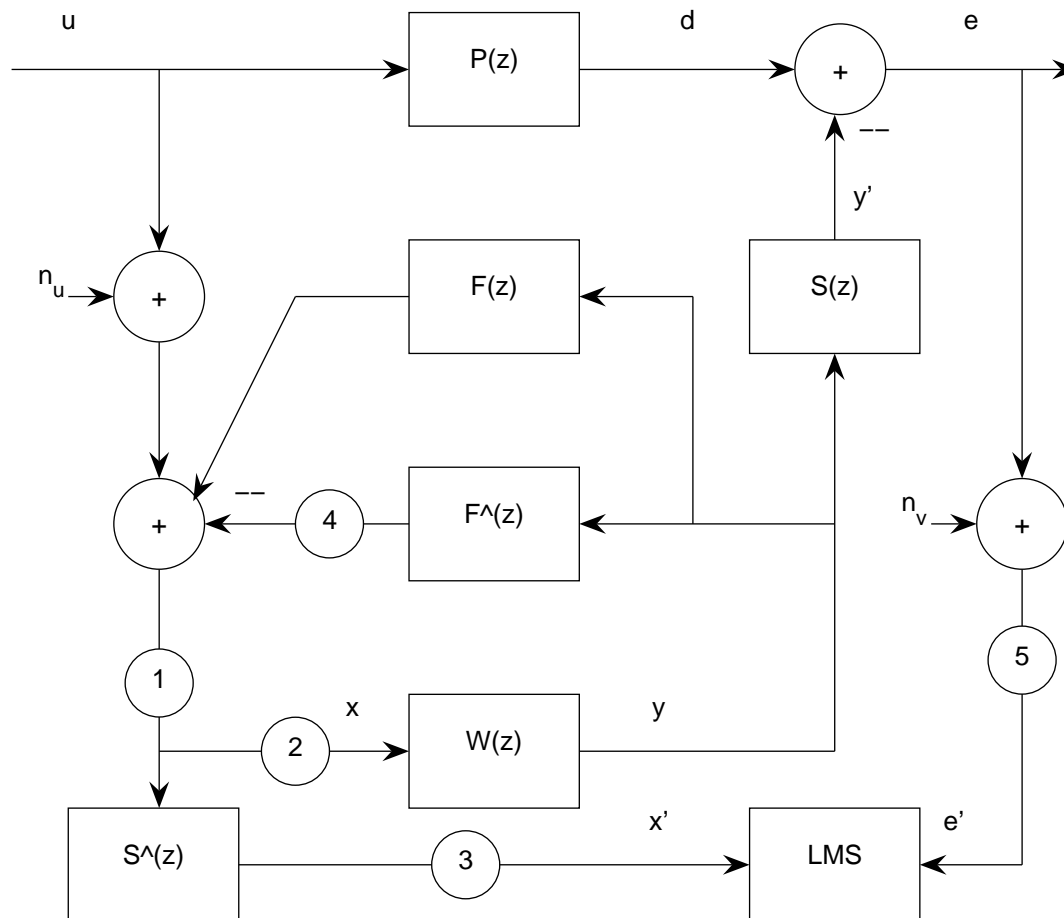
Szimulációk

● A szimulációk legbővebb modellje

- FuLMS vs. FxLMS
- FuLMS vs. RLMS
- Pólus kialakulása
- Adaptív zajszűrés
- Zajmentes identifikáció
- ANC szimuláció
- ANC szimuláció (2)

Kitékintés

ANC BLOCK DIAGRAM



FuLMS vs. FxLMS

Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

Szimulációk

● A szimulációk legbővebb modellje

● **FuLMS vs. FxLMS**

● FuLMS vs. RLMS

● Pólus kialakulása

● Adaptív zajszűrés

● Zajmentes identifikáció

● ANC szimuláció

● ANC szimuláció (2)

Kitékintés

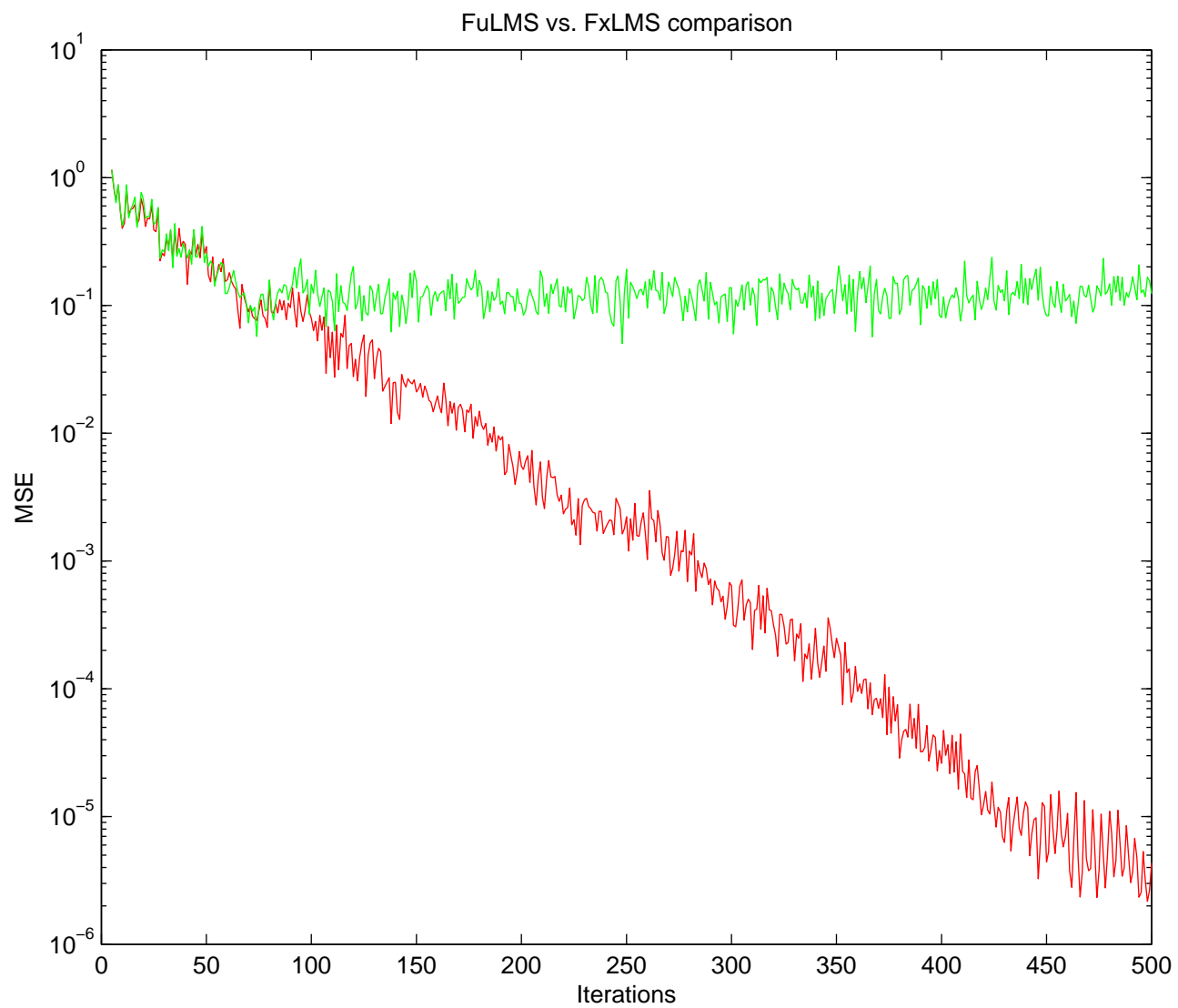
Paraméterek:

Input gerjesztés: fehér Gauss-zaj; $N = 500$ (32 iteráció – átlagolt szűrő);

Modell $P(z) = z^{-2}$; $S(z) = \hat{S}(z) = 1$; $F(z) = 0.7z^{-2}$, $\hat{F}(z) = 0$;

Adaptív szűrő $L = 7$, $\mu = 0.03$ (FxLMS); $L = 3$, $M = 4$, $\mu_{1,2} = 0.03$ (FuLMS);

FuLMS vs. FxLMS



FuLMS vs. RLMS

Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

Szimulációk

- A szimulációk legbővebb modellje
- FuLMS vs. FxLMS
- **FuLMS vs. RLMS**
- Pólus kialakulása
- Adaptív zajszűrés
- Zajmentes identifikáció
- ANC szimuláció
- ANC szimuláció (2)

Kitékintés

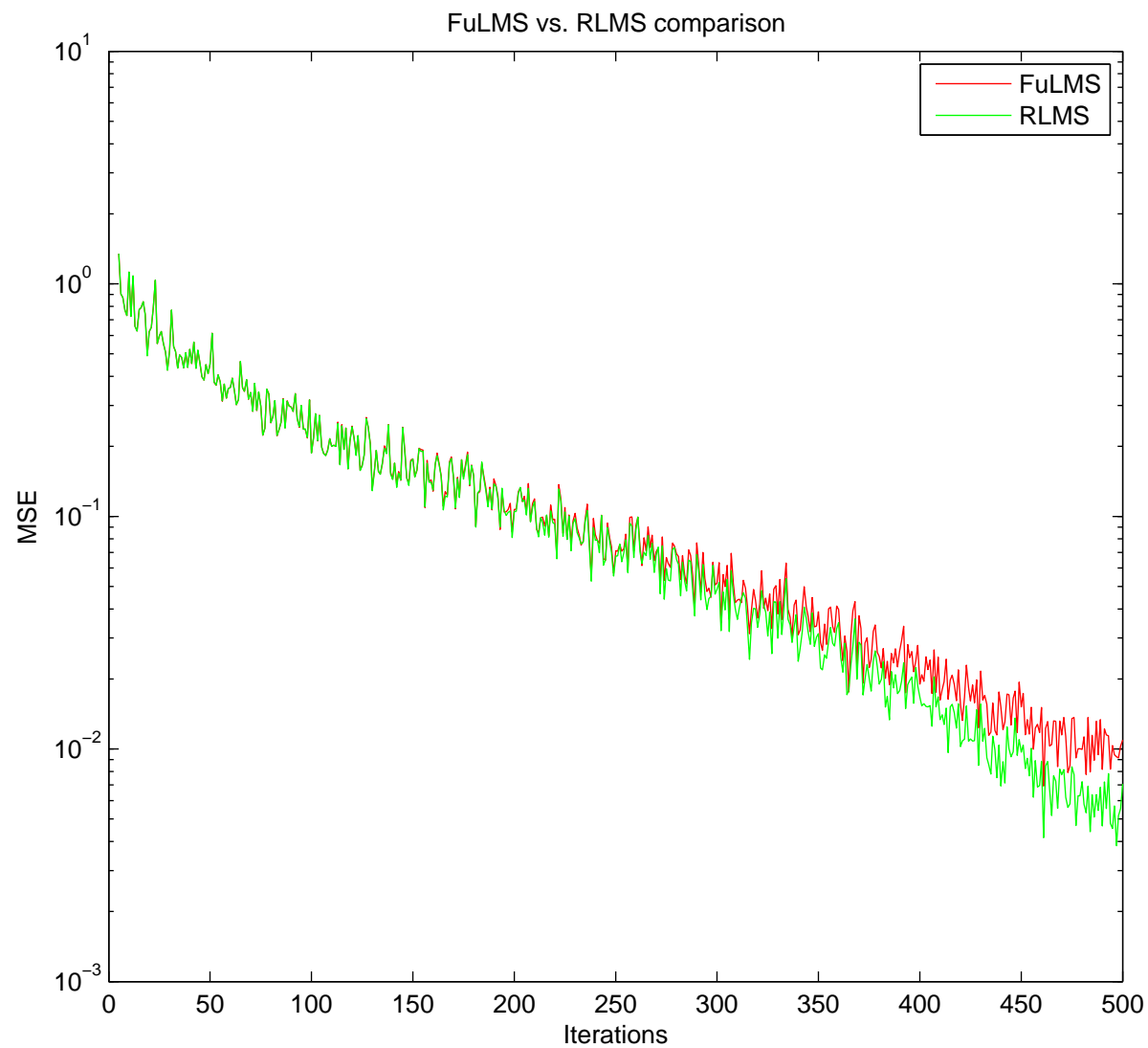
Paraméterek:

Input gerjesztés: fehér Gauss-zaj; $N = 500$ (64 iteráció – átlagolt szűrő);

Modell $P(z) = z^{-2}$; $S(z) = \hat{S}(z) = 1$; $F(z) = 0.7z^{-2}$, $\hat{F}(z) = 0$;

Adaptív szűrő $L = 3$, $M = 4$, $\mu_{1,2} = 0.01$ (FuLMS és RLMS);

FuLMS vs. RLMS



Pólus kialakulása

Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

Szimulációk

● A szimulációk legbővebb modellje

● FuLMS vs. FxLMS

● FuLMS vs. RLMS

● Pólus kialakulása

● Adaptív zajszűrés

● Zajmentes identifikáció

● ANC szimuláció

● ANC szimuláció (2)

Kitékintés

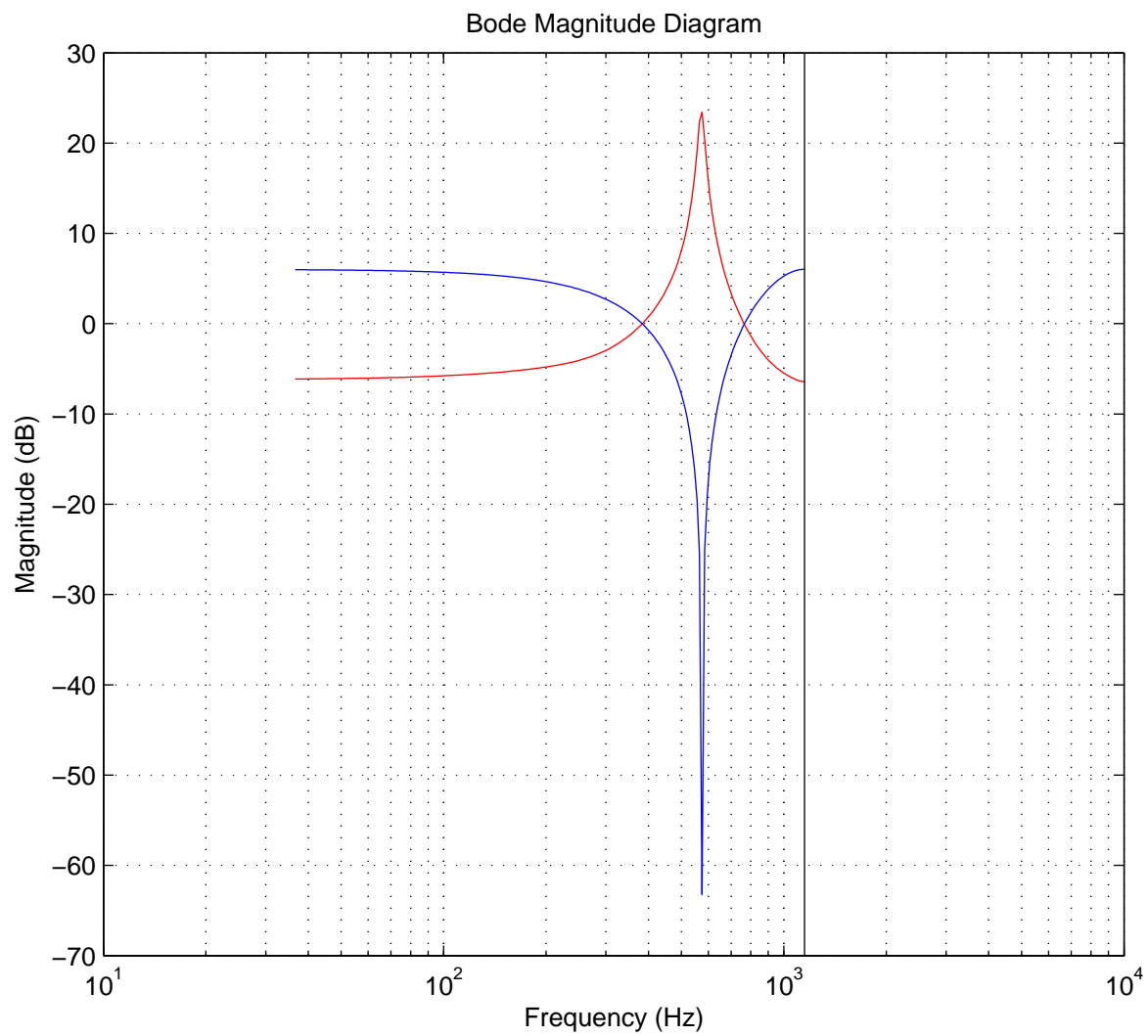
Paraméterek:

Input $f_s = 2300$ Hz; gerjesztés: fehér, sávhatárolt Gauss-zaj, $f_c = 1100$ Hz (12-ed fokú Butterworth), $N = 5000$;

Modell $P(z) = S(z) = \dots = 1$; $F(z) = \dots = 0$; $F_1(z) = 1 + z^{-2} \Rightarrow$ zérus 575 Hz-en;

Adaptív szűrő $L = M = 8$; $\mu_{1,2} = 0.005$; FuLMS algoritmus

Pólus kialakulása



Adaptív zajszűrés

Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

Szimulációk

- A szimulációk legbővebb modellje
- FuLMS vs. FxLMS
- FuLMS vs. RLMS
- Pólus kialakulása
- **Adaptív zajszűrés**
- Zajmentes identifikáció
- ANC szimuláció
- ANC szimuláció (2)

Kitékintés

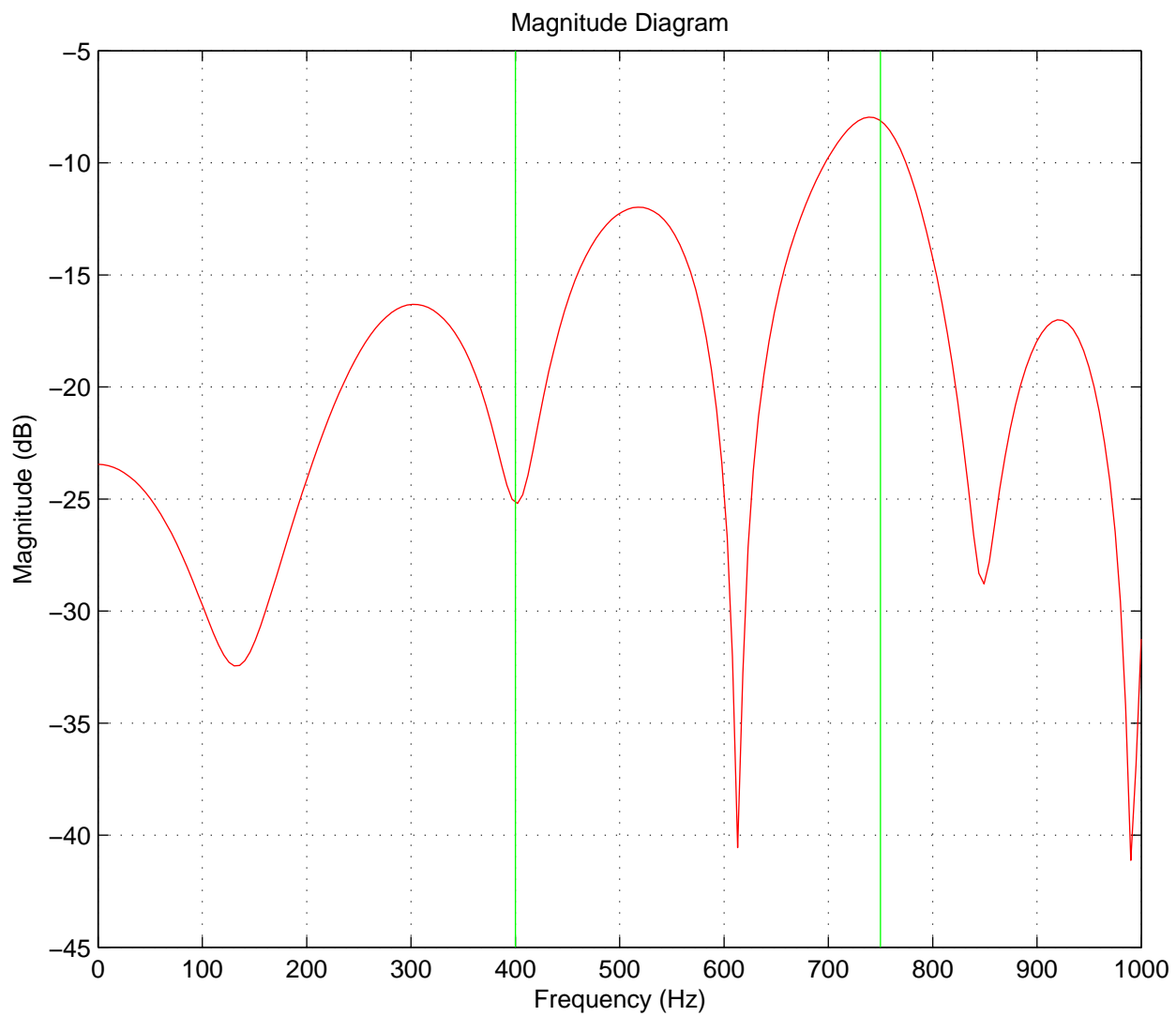
Paraméterek:

Input $f_s = 2500$ Hz; gerjesztés: fehér, sávhatárolt Gauss-zaj, $f_c = 1000$ Hz (12-ed fokú Butterworth) + két szinuszos komponens ($f_1 = 400$ Hz, $f_2 = 750$ Hz, $\text{SNR}_1 = -26$ dB, $\text{SNR}_2 = -10$ dB) $N = 5000$;

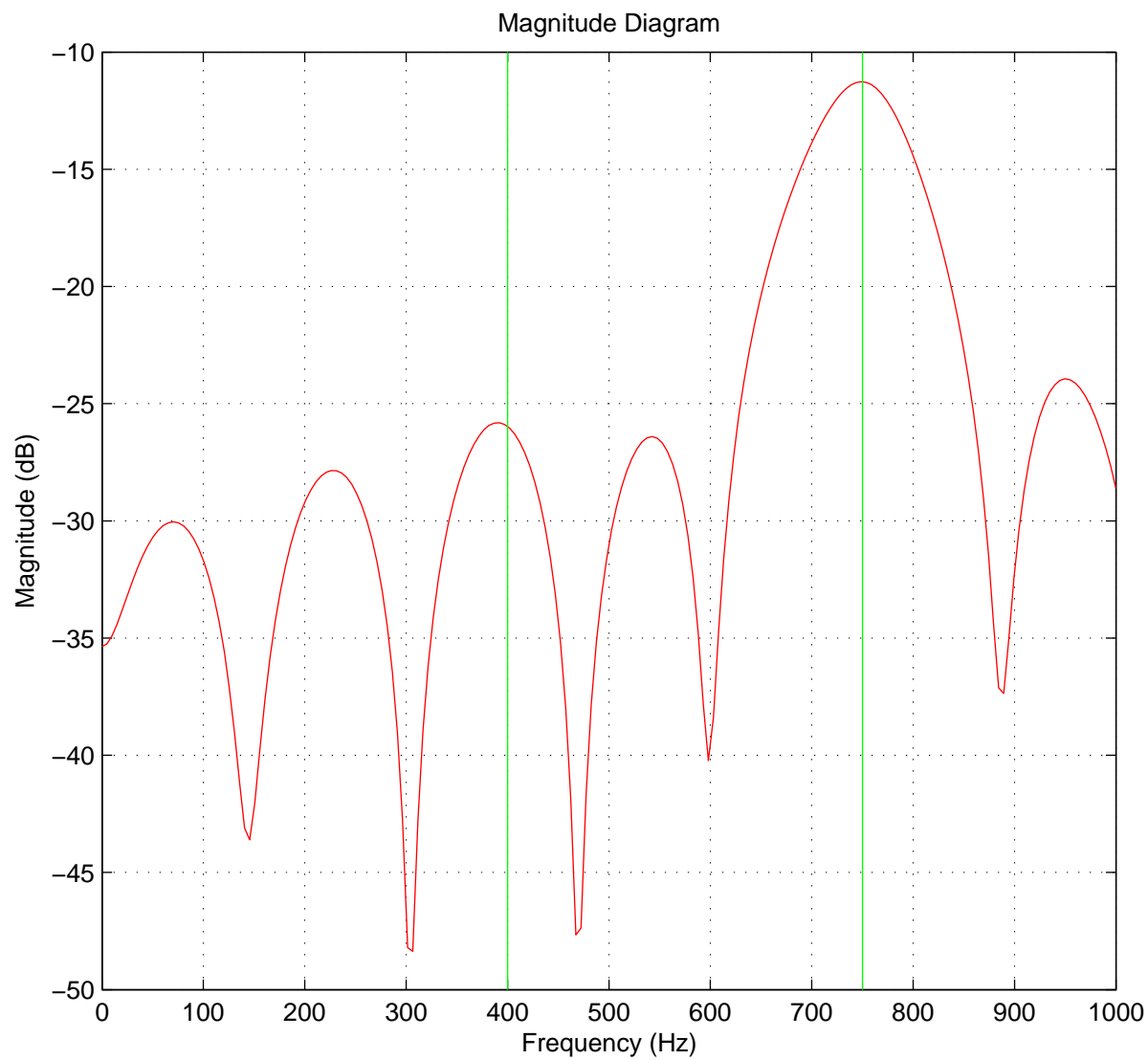
Modell $P(z) = S(z) = \dots = 1$; $F(z) = \dots = 0$; $F_1(z) = z^{-100} \Rightarrow$ zaj-dekorreláció;

Adaptív szűrő $L = M = 16$; $\mu_{1,2} = 0.001$; FuLMS algoritmus

Adaptív zajszűrés



Adaptív zajszűrés (32 Iteráció)



Zajmentes identifikáció

Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

Szimulációk

- A szimulációk legbővebb modellje
- FuLMS vs. FxLMS
- FuLMS vs. RLMS
- Pólus kialakulása
- Adaptív zajszűrés
- Zajmentes identifikáció
- ANC szimuláció
- ANC szimuláció (2)

Kitékintés

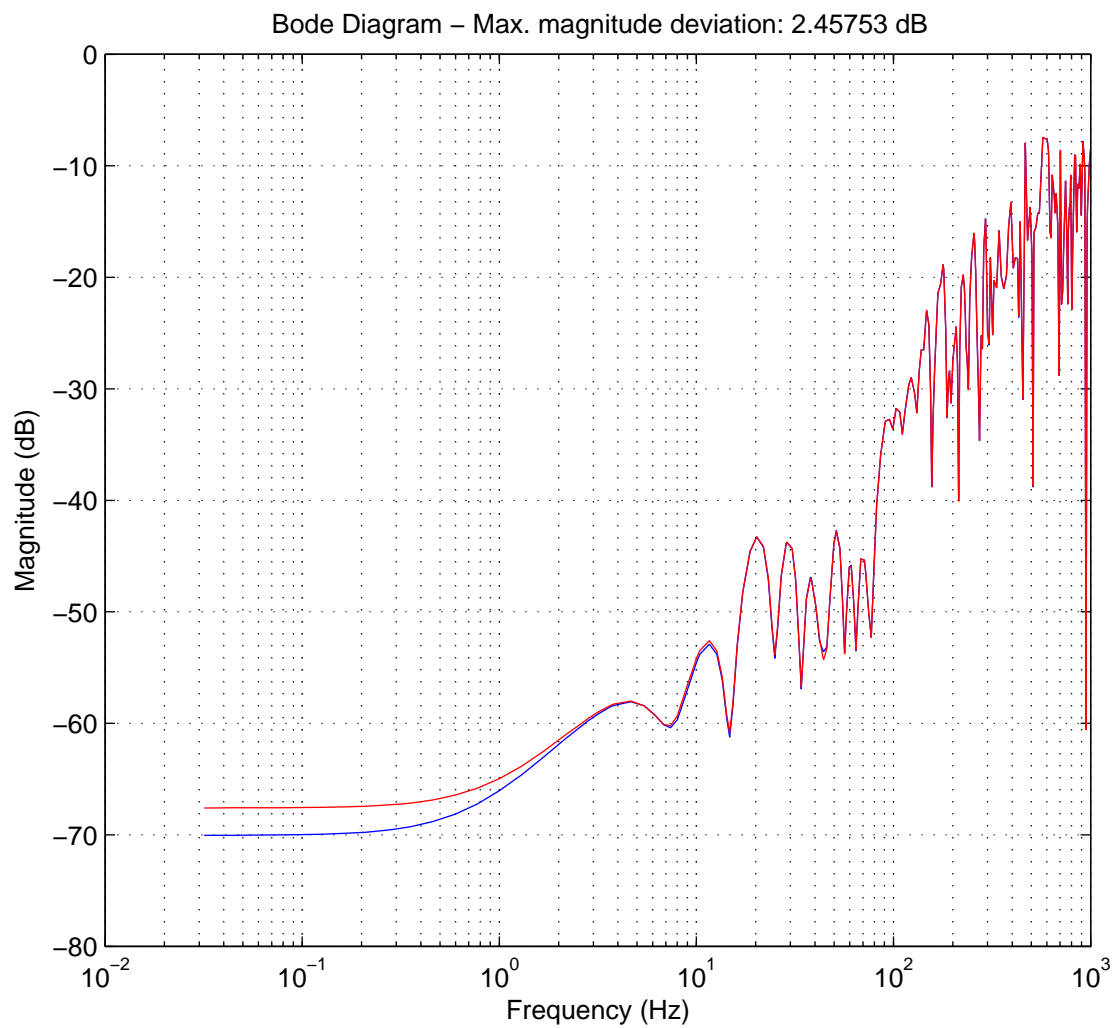
Paraméterek:

Input $f_s = 2000$ Hz; gerjesztés: fehér Gauss-zaj, $N = 5000$;

Modell $P(z) = [\text{mért IR}]$; $S(z) = \dots = 1$; $F(z) = \dots = 0$;

Adaptív szűrő $L = 500$ ($L > L_{\text{IR}}$); $\mu = 0.002$; FxLMS algoritmus

Zajmentes identifikáció



ANC szimuláció

Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

Szimulációk

● A szimulációk legbővebb modellje

● FuLMS vs. FxLMS

● FuLMS vs. RLMS

● Pólus kialakulása

● Adaptív zajszűrés

● Zajmentes identifikáció

● **ANC szimuláció**

● ANC szimuláció (2)

Kitékintés

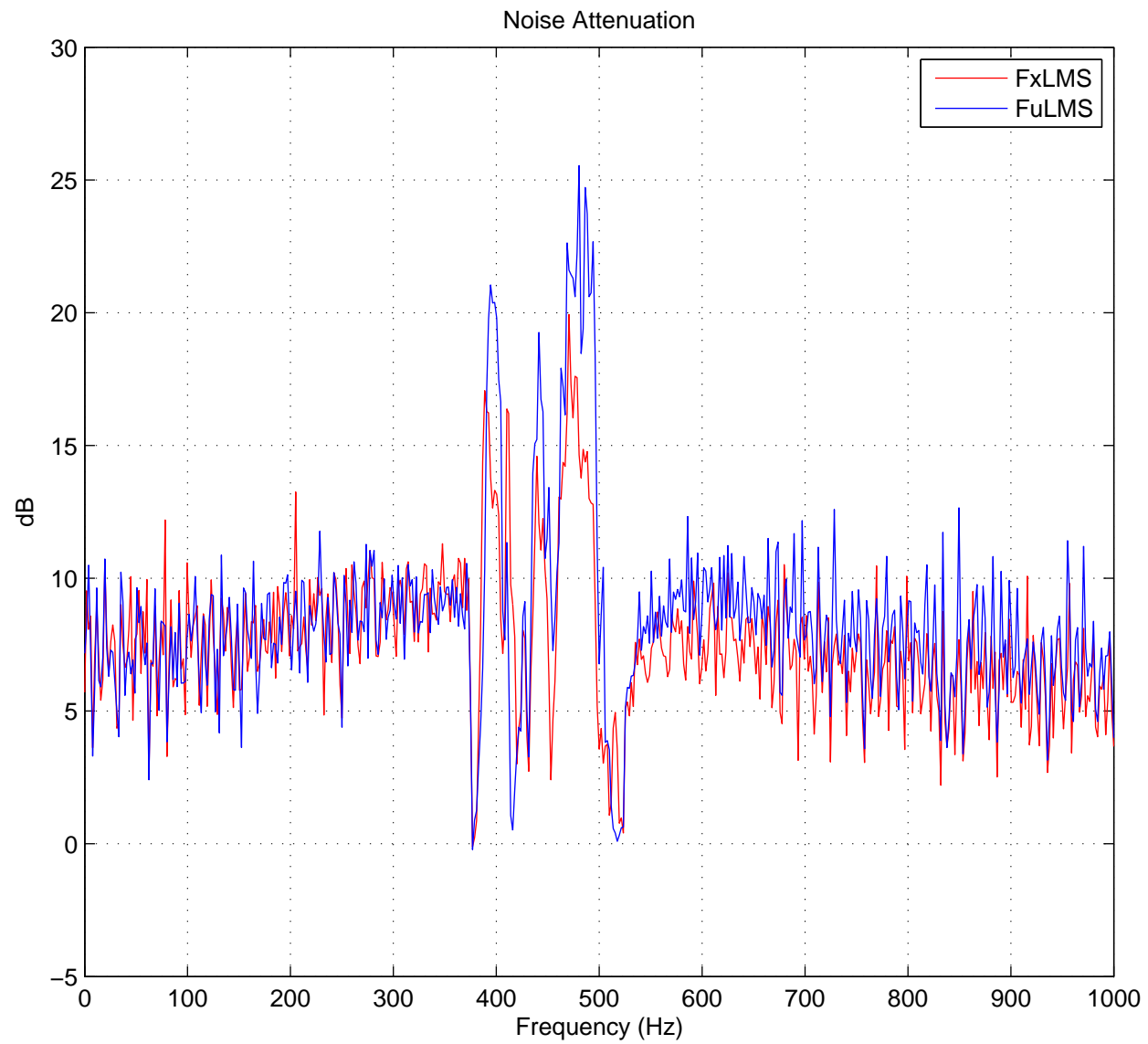
Paraméterek:

Input $f_s = 2000$ Hz; gerjesztés: fehér, sávhatárolt Gauss-zaj (400-500 Hz, FIR szűrő, $a_s = 60$ dB), $N = 80000$;

Modell $P(z) = z^{-150}$; $S(z) = [\text{mért IR}]$, $\hat{S}(z) = [\text{id. IR}]$;
 $F(z) = 0.1z^{-150}$, $\hat{F}(z) = 0$;

Adaptív szűrő $L = 500$, $\mu = 0.01$ (FxLMS); $L = 250$, $M = 250$,
 $\mu_{1,2} = 0.0007$ (FuLMS);

ANC szimuláció



ANC szimuláció (2)

Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

Szimulációk

● A szimulációk legbővebb modellje

● FuLMS vs. FxLMS

● FuLMS vs. RLMS

● Pólus kialakulása

● Adaptív zajszűrés

● Zajmentes identifikáció

● ANC szimuláció

● ANC szimuláció (2)

Kitékintés

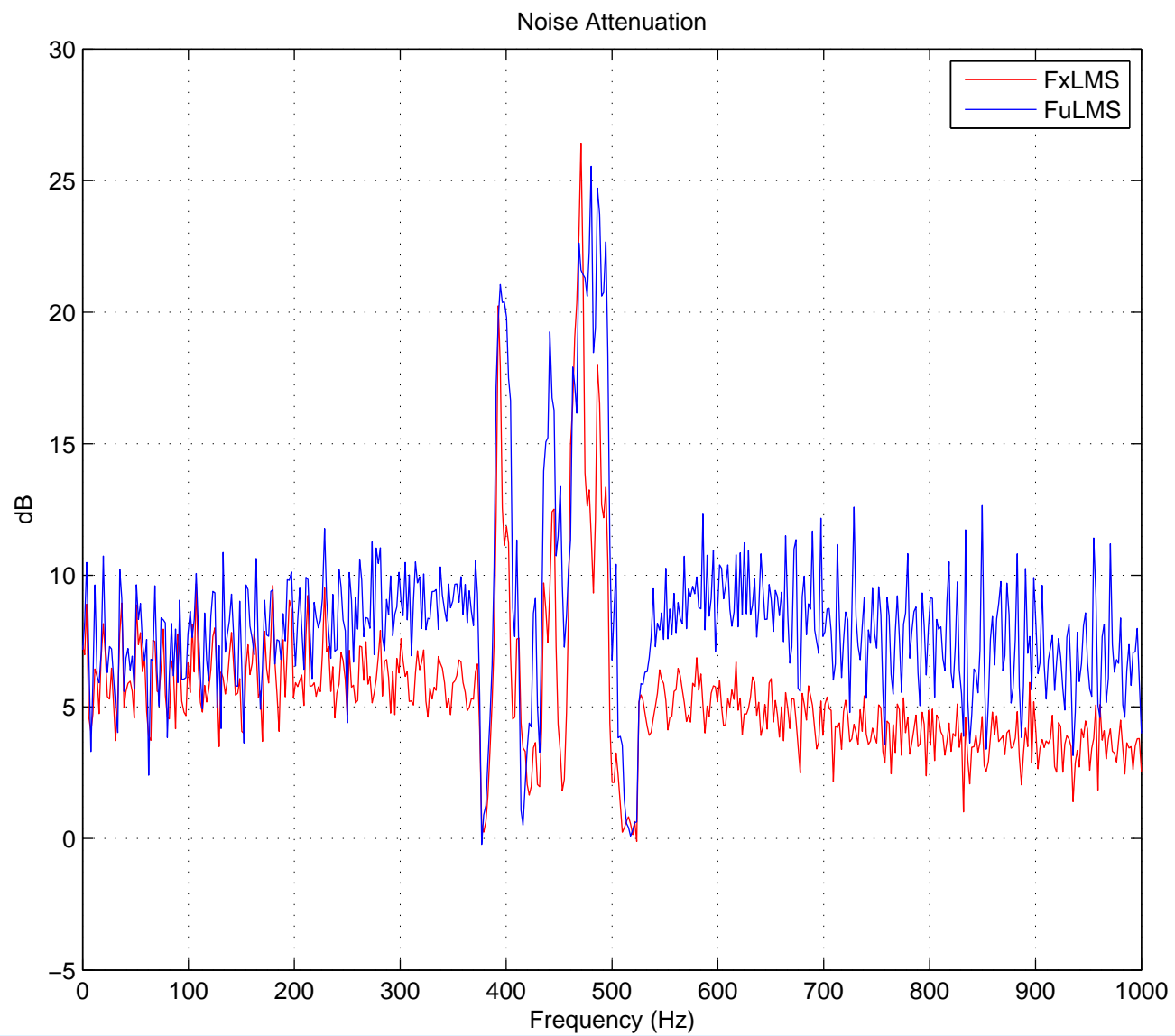
Paraméterek:

Input $f_s = 2000$ Hz; gerjesztés: fehér, sávhatárolt Gauss-zaj (400-500 Hz, FIR szűrő, $a_s = 60$ dB), $N = 80000$;

Modell $P(z) = z^{-150}$; $S(z) = [\text{mért IR}]$, $\hat{S}(z) = [\text{id. IR}]$;
 $F(z) = 0.1z^{-150}$, $\hat{F}(z) = 0$;

Adaptív szűrő $L = 500$, $\mu = 0.0007$ (FxLMS); $L = 250$, $M = 250$,
 $\mu_{1,2} = 0.0007$ (FuLMS);

ANC szimuláció (2)



Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

Szimulációk

Kitekintés

● Folytatási lehetőségek

Kitekintés

Folytatási lehetőségek

Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

Szimulációk

Kitekintés

● Folytatási lehetőségek

További irodalomkutatás + szimulációk:

- a tárgyalt algoritmusok vizsgálata, újak megismerése;
- másfajta szűrőstruktúrák (lattice).

Egy arra *alkalmas* adaptív modell implementálása szélessávú, egycsatornás akusztikai ANC problémához.

Feladatismertetés

Elméleti áttekintés

Szimulációk

Kitékintés

Köszönöm a figyelmet!