

CELP kodeky

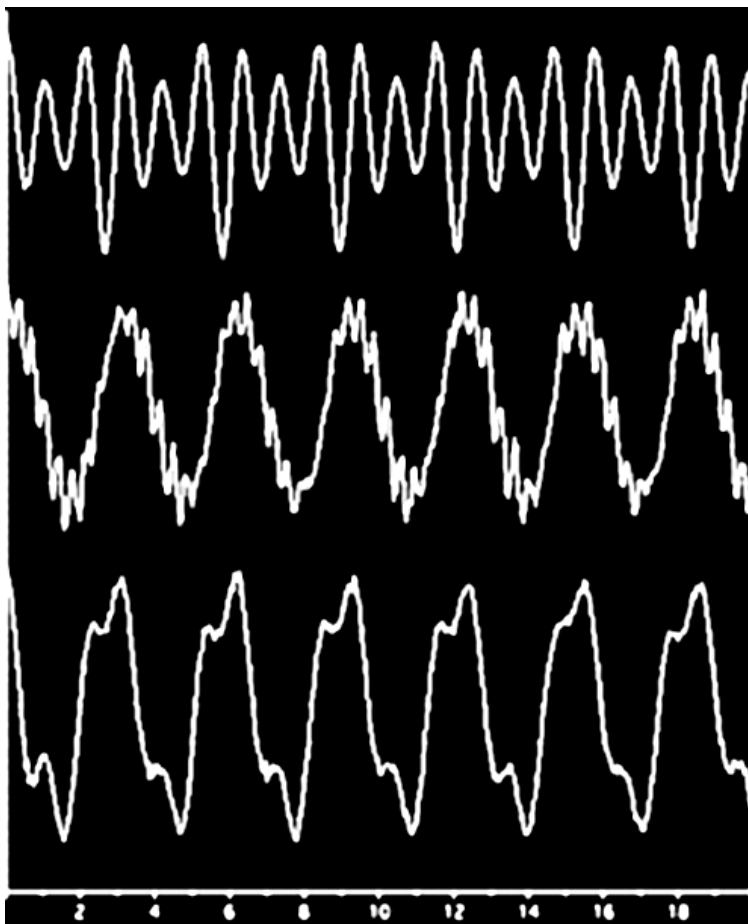


Část I

Lineární predikce

(Zaměřeno na kodek pro TETRAPOL)

Mluvené slovo



• Ah

• E

• O

Popis signálu hlasu

- signál je hodně symetrický
- základem je tzv. formant (sada tónů)
- následně dochází k jeho deformaci v
 - dutině ústní
 - dutině nosní
 - pohybem jazyka a rtů

Zpracování zvuku

- zvuk se navzorkuje (např. 8KHz)
- rozdělí se na bloky – rámce
(O délce 20 ms, pro 8kHz odpovídá $N=160$ vzorků)
- opakující se sekvence →
predikce zvuku na základě minulých vzorků
- zvolme délku predikce $p = 10$ vzorků

Lineární predikce signálu

co nejmenší rozdíl mezi skutečným a vypočteným signálem

$$\bar{s}_n = \sum_{i=1}^p a_i s_{n-i}$$

$$e_n = s_n - \bar{s}_n$$

$$e_n = s_n - \sum_{i=1}^p a_i s_{n-i}$$

$$E = \sum_{n=0}^{N-1} e_n^2$$

$$E = \sum_{n=0}^{N-1} \left(s_n - \sum_{i=1}^p a_i s_{n-i} \right)^2$$

Lineární predikce signálu

- Chceme minimalizovat E (najdem extrém)
- Spočtem všechny derivace E podle a_i
- Položíme je rovny 0
- Řešíme soustavu 10 rovnic o 10 neznámých

Lineární predikce signálu

$$\frac{\partial E}{\partial a_j} = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial a_j} = - \sum_{n=0}^{N-1} \left(2 \left(s_n - \sum_{i=1}^p a_i s_{n-i} \right) s_{n-j} \right) = 0$$

$$0 = \sum_{n=0}^{N-1} \left(2 s_n s_{n-j} - 2 \sum_{i=1}^p a_i s_{n-i} s_{n-j} \right)$$

$$\sum_{n=0}^{N-1} s_n s_{n-j} = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{i=1}^p a_i s_{n-i} s_{n-j}$$

$$\sum_{n=0}^{N-1} s_n s_{n-j} = \sum_{i=1}^p a_i \sum_{n=0}^{N-1} s_{n-i} s_{n-j}$$

Lineární predikce signálu

$$\sum_{n=0}^{N-1} s_n s_{n-j} = \sum_{i=1}^p a_i \sum_{n=0}^{N-1} s_{n-i} s_{n-j}$$

$$\phi_{i,j} = \sum_{n=0}^{N-1} s_{n-i} s_{n-j}$$

$$\phi_{0,j} = \sum_{i=1}^p a_i \phi_{i,j}$$

$$\phi = \mathbf{a} \phi$$

- Řešíme maticovou úlohu

Lineární predikce signálu

- Řešení si můžeme zjednodušit
- Místo původní definice Φ použijeme autokorelaci
- Vyjde speciální typ matice (Toeplitzova)
- Lze velmi snadno řešit (Leroux-Gueguen)

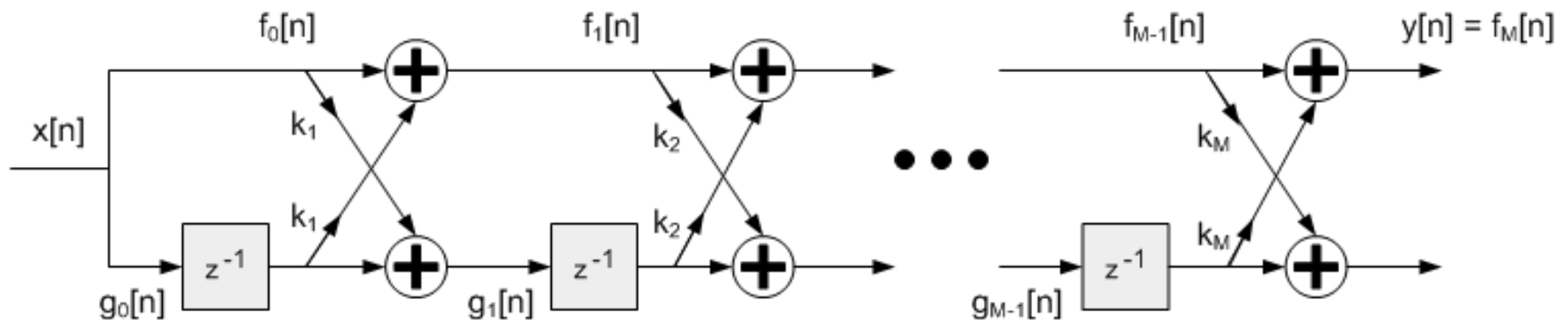
$$k_i = \sum_{j=0}^{N-1} s_j s_{j+i}$$

Lineární predikce signálu

- Výsledky jsou koeficienty pro konvoluční filtr
- V praxi se ovšem nepoužívají, tento typ filtru se může být díky zaokrouhlovacím chybám stát nestabilním
- Používají se mezivýsledky („reflection coefficients“)
- Pokud jsou jejich hodnoty $(-1, 1)$ je filtr stabilní
- <http://svr-www.eng.cam.ac.uk/~ajr/SpeechAnalysis/node41.html>

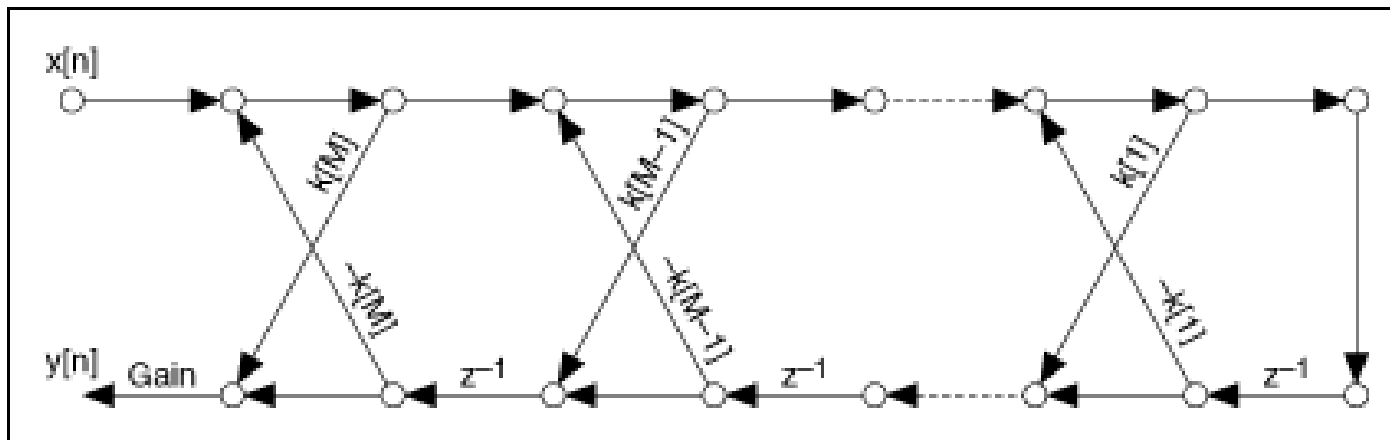
Lineární predikce - komprese

- Vezme se vzorek (rámeček) se zvukem
- Spočtou se „reflection coefficients“
- Signál se prožene filtrem a odstraní se predikovatelná složka
- Zůstane nám jednodušší signál
 - Ten je potřeba dále nějak uchovat kvůli rekonstrukci

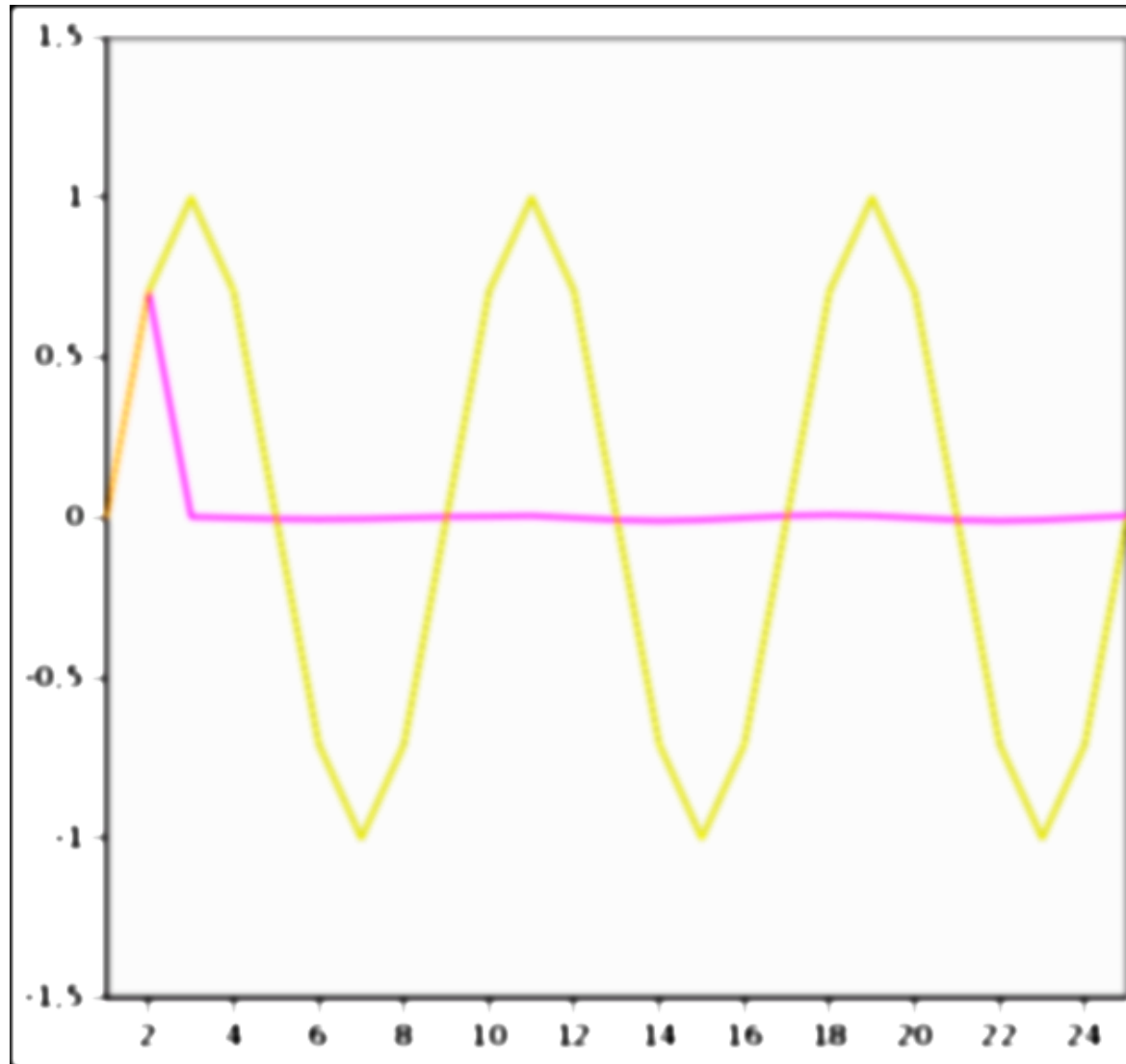


Lineární predikce - dekomprese

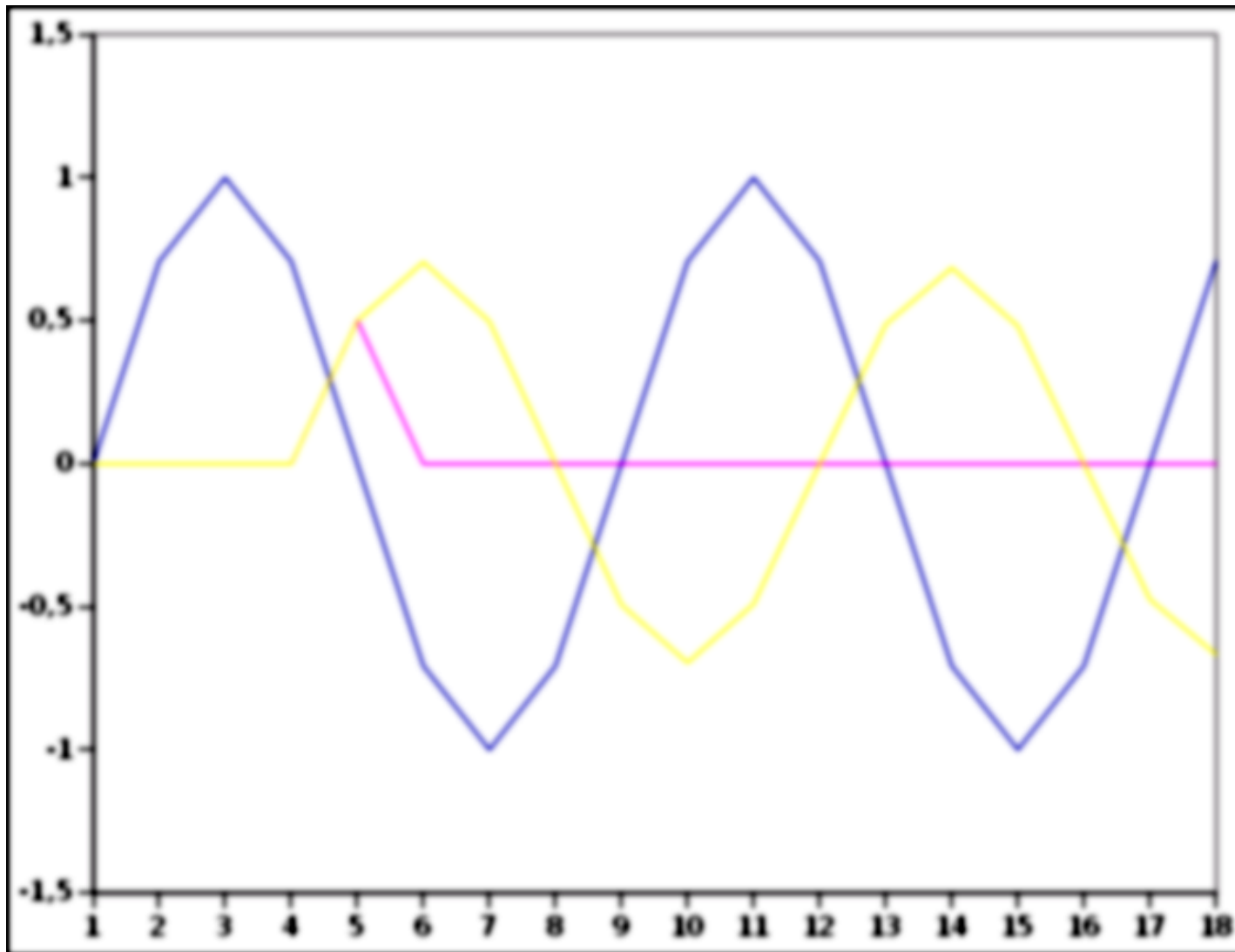
- Nějak vygeneruju něco co se podobá původnímu zbytkovému signálu
- Proženem to inverzím filtrem který používá dříve spočítané koeficienty
- Máme zvuk



Lineární predikce - test



Lineární predikce - test



RP-CELP a TETRAPOL

- Je dostupný draft specifikace kodeku
 - Chybí rozložení bitů v datovém rámci
 - Chybí kvantizační tabulky
 - Některé údaje jsou zavádějící
 - Některé významné bity jsou chráněné (které?)
 - Nejrůznější chyby, překlepy atp.

Dump rámců

```
011011 10 00010 01001 01 10000001110010101000001011101100 001011101 1001 0011010000001100001 1100 101010001001101001 1010 1000000011
011011 00 00001 00011 00 00001001010011001000001001011100 101100100 1000 1001100000111010111 1100 111001111001000110 1100 1001110100
101011 00 00100 01010 00 11110110010011010000011011100110 011000010 0100 0011111110000001111 0010 011100100100111001 0100 0100010001
011011 10 00001 01101 01 10000101110001110000001101001110 010010011 1001 0101110110010010000 1100 011010010100111111 0001 0100010001
011011 00 00001 00100 00 01001101010001010000101001011000 100000000 1000 1010010011110100101 1100 100111100010100001 1100 1010001000
011001 10 01011 01110 00 00001101001111110000010001011110 010110111 1001 0110000110111001011 0110 010101000101111001 0100 1000101000
011011 00 00010 00110 00 00001001110001101100101011010100 110001010 1001 1000010110101110101 0010 100001100010000011 0100 1100111010
011010 10 00010 01111 00 00000101010001111000001101100110 000110010 1000 1000000000001110110 1010 010100010100010001 0100 0110100101
101011 00 00011 00000 00 01110011110011010000001001010110 011000001 1001 1000000000010011101 0100 101000101001001101 1100 1011011110
101011 10 00001 00010 00 1111110110001001000001101101110 100010101 1001 101011110101000010 0100 110011000110011010 0010 0100000111
101011 01 01110 01001 01 01110101001011100000011101100100 110101000 1101 0001000100000110001 0100 011100101001000101 1010 0100010100
011010 10 00010 01000 00 01001011110011111000101110101100 000001110 1000 0010110010000110110 0100 011110001000111111 0100 0100111101
101011 11 01000 00110 00 00111001110011100000001101101110 000000111 0100 0001001000011011100 1100 011010000010110101 1100 0010110010
011011 10 00011 00000 01 10001001010011110000101101011010 111101011 1000 0110100011101101000 1100 101100000001010101 0110 0000000010
011011 10 00000 01100 00 00001110010100010100101001010010 000101101 1001 1100011111010111110 0110 00000000000111001 0010 1010101000
011011 01 00010 00100 01 00000101110001100000110011100010 011110000 1001 1011111110010111011 0010 100111000000100110 0010 0100010100
101001 00 00010 00100 00 11110101110101001100110110011100 011111010 1001 0000011111100011111 1100 011110000001011111 0010 0000010101
101011 00 00001 00000 00 01110001110010101100101001010100 001100111 1001 1010100001011111001 1100 110010001011010110 1100 0111010101
101011 10 01010 00001 01 10111001110010110100101011110010 100000011 1001 0001011000000110111 0100 011111000111101000 1010 1000000000
011001 01 00010 01010 00 0000000111011110000110101010000 101010011 1001 0000101100101001101 0100 001000001010111100 0100 0100111100
011011 01 01011 01011 00 00001110010100010000001101101110 011110111 1001 0100101100000110010 0010 111101001001000100 1100 0010101011
011011 00 01001 01111 00 00000101010011110000101101101001 010100010 1001 0101010110101100111 0110 001011100111001101 0100 1101010001
101011 00 00011 01000 00 01111101110010110100110001101100 110011001 1001 0010011101010110101 1100 11010000111111010 1100 0000010101
011011 00 01011 00010 00 00001101110010010000101001010010 010000001 0101 0000001010100110010 0100 010000110101011001 1100 1011001000
```


Obsah rámce

- Analyzujeme rámce kódující známý zvuk
- Generujeme/modifikujeme rámce a zkoušíme co z toho vyleze (není moc úspěšné)

Detekce obsahu

- Vychází se ze specifikace
- Odchytávají se rámce pro definované signály (sinus, obdélník, impulz, součet víc sinusů)
- Zjišťuje se které bity se flipují nebo naopak drží konstantní
- Statistika
 - počet flipnutí bitů v sloupci (LSB)
 - Počet nul/jedniček
 - Které bity se flipují zároveň
 - Intuice, výsledek musí vypadat „hezky“

Detekce obsahu

```
101100 11 00001 01001 00 01101111101010101000110100101100 0010111000 0000 1000010110101100001 0000 11011010000111001 0000 1100000100
101100 00 00001 01001 00 01101111101010101000110100101100 001111011 0000 1000010110101100001 0000 11011010000111001 0000 1100000100
101100 01 00001 01001 00 01101111101010101000110100101000 001111000 0000 1000010110101100001 0000 11011010000111001 0000 1100000100
101100 01 00011 01001 00 01101111101010101000110100101000 001111010 0000 1000010110101100001 0000 11011010000111001 0000 1100000000
101100 00 00001 01011 00 01101111101010101000110100101100 001111011 0000 1000010110101100010 0000 110110100001011010 0000 1100000100
101100 01 00001 01001 00 11101111101010101000110100101000 001111000 0000 1000010110101100001 0000 11011010000111001 0000 1000110110
101100 01 00011 01001 00 01101111101010101000110100101100 001111000 0000 1000010110101100010 0000 11011010000111010 0000 1100000100
101100 11 00001 01001 00 11101111101010101000110100101100 0010111000 0000 1000010110101100001 0000 11011010000111000 0000 1100011000
101100 11 00001 01111 00 01101111101010101000110100101100 001111010 0000 1000010110101100010 0000 001111010001011001 0000 1100000100
101100 01 00001 01111 00 01101111101010001000110100101100 001111000 0000 1000010110101100010 0000 00111101000111001 0000 1100000100
101100 01 00001 01111 00 01101111101010001000110100101100 001111000 0000 1000010110101100010 0000 00111101000111001 0000 1100000100
101100 01 00001 01101 00 01101111101010101000110100101100 001111000 0000 1000010110101100001 0000 00111101000111001 0000 1100000100
101100 01 00001 01111 00 01101111101010001000110100101100 001111000 0000 1000010110101100010 0000 001111010001011010 0000 1100100100
101100 01 00001 01011 00 01101111101010101000110100101100 001111010 0000 1000010110101100010 0000 11011010000111001 0000 1010011001
101100 01 00001 01011 00 01101111101010001000110100101100 001111000 0000 1000010110101100010 0000 11011010000111001 0000 1010011001
101100 01 00001 01001 00 11101111101010101000110100101100 001111000 0000 1000010110101100001 0000 11011010000111001 0000 1000110110
101100 01 00001 01011 00 11101111101010101000110100101100 001111000 0000 1000010110101100010 0000 110110100001011001 0000 1000110110
101100 01 00001 01001 00 11101111101010101000110100101100 001111000 0000 0010100011101100001 0000 11011010000111010 0000 1000110110
101100 11 00001 01001 00 11101111101010001000110100101100 0010111000 0000 0010100011101100001 0000 11011010000111010 0000 1000110110
101100 11 00001 01011 00 11101111101010001000110100101100 001111000 0000 0010100011101100010 0000 110110100001011001 0000 1000110110
101100 01 00001 01001 00 11101111101010101000110100101100 001111000 0000 0010100011101100001 0000 11011010000111001 0000 1000110110
```

Detekce obsahu

```
001011000 0000 1000010110111100001 0000 110110100001111001 0000
001111011 0000 1000010110111100001 0000 110110100001111001 0000
001111000 0000 1000010110111100001 0000 110110100001111001 0000
001111010 0000 1000010110111100001 0000 110110100001111001 0000
001111011 0000 1000010110111100010 0000 110110100001011010 0000
001111000 0000 1000010110111100001 0000 110110100001111001 0000
001111000 0000 1000010110111100010 0000 110110100001111010 0000
001011000 0000 1000010110111100001 0000 110110100001111000 0000
001011010 0000 1000010110111100010 0000 001111010001011001 0000
001111000 0000 1000010110111100010 0000 001111010001011001 0000
001111000 0000 1000010110111100010 0000 001111010001011001 0000
001111000 0000 1000010110111100001 0000 001111010001111001 0000
001111000 0000 1000010110111100010 0000 001111010001011010 0000
001111010 0000 1000010110111100010 0000 110110100001011001 0000
001111000 0000 1000010110111100010 0000 110110100001011001 0000
001111000 0000 1000010110111100001 0000 110110100001111001 0000
001111000 0000 1000010110111100010 0000 110110100001011001 0000
001111000 0000 1000010110111100010 0000 110110100001011001 0000
001111000 0000 0010100011111100001 0000 110110100001111010 0000
001011000 0000 0010100011111100001 0000 110110100001111010 0000
001011000 0000 0010100011111100010 0000 110110100001011001 0000
001111000 0000 0010100011111100001 0000 110110100001111001 0000
```

Obsah rámce

- 38 b LAR (reflection coefficients)
- 3x podrámec (známe přibližně hranice)
- Hodnoty zesílení excitace (3x5 b)
- Přibližná poloha ostatních parametrů
- Nevíme rozložení bitů (něco je tam divně)

Ukázka

- Buzení pomocí bílého šumu
- LAR (reflection coefficients) jen odhadnuty
- Nestřílejte na implementátory, dělají co můžou