Разпознаване на емоции в сигнали от реч и ЕЕГ

В началото

- … бе Словото

В началото

- … бе Словото
- Експлицитен и имплицитен канал при общуване

В началото

- … бе Словото
- Експлицитен и имплицитен канал при общуване
- Прозодия (ритъм, интонация, ударение)

В началото

- … бе Словото
- Експлицитен и имплицитен канал при общуване
- Прозодия (ритъм, интонация, ударение)

Попълването на вица е оставено за упражнение на читателя

В началото

- … бе Словото
- Експлицитен и имплицитен канал при общуване
- Прозодия (ритъм, интонация, ударение)

Попълването на вица е оставено за упражнение на читателя

- Съчетаване на първичен (ЕЕГ) и вторичен (реч) канал

Влакче на мисълта

- Нулева зона (какво е емоция)

Влакче на мисълта

- Нулева зона (какво е емоция)
- Сигнал от реч

Влакче на мисълта

- Нулева зона (какво е емоция)
- Сигнал от реч
- Сигнал от ЕЕГ

Влакче на мисълта

- Нулева зона (какво е емоция)
- Сигнал от реч
- Сигнал от ЕЕГ
- Съчетаване на двата сигнала

Влакче на мисълта

- Нулева зона (какво е емоция)
- Сигнал от реч
- Сигнал от ЕЕГ
- Съчетаване на двата сигнала
- Резултати

Влакче на мисълта

- Нулева зона (какво е емоция)
- Сигнал от реч
- Сигнал от ЕЕГ
- Съчетаване на двата сигнала
- Резултати
- Заключение

Нулева зона (какво е емоция)

Нулева зона (какво е емоция)

- Теорията на Дарвин

Нулева зона (какво е емоция)

- Теорията на Дарвин
  - "Принцип на полезните навици"

Нулева зона (какво е емоция)

- Теорията на Дарвин
  - “Принцип на полезните навици“
  - “Принцип на противоположностите“

Нулева зона (какво е емоция)

- Теорията на Дарвин
  - “Принцип на полезните навици”
  - “Принцип на противоположностите”
  - “Принцип на нервните сигнали”

Нулева зона (какво е емоция)

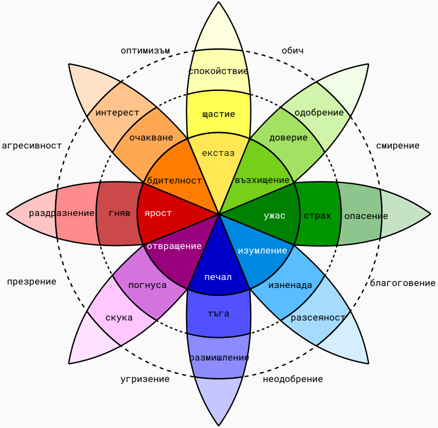
- Теорията на Дарвин
  - "Принцип на полезните навици"
  - "Принцип на противоположностите"
  - "Принцип на нервните сигнали"
- Продължението на Плутчик (1980)

Нулева зона (какво е емоция)

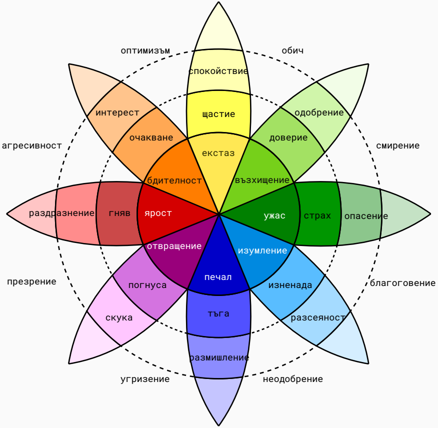
- Теорията на Дарвин
  - "Принцип на полезните навици"
  - "Принцип на противоположностите"
  - "Принцип на нервните сигнали"
- Продължението на Плутчик (1980)

  Емоцията е сложна верига от събития, която започва с някакъв стимул. В следствие настъпва фаза на "изпитване на емоция" и фаза на физиологични промени. Те предизвикват целенасочено държание, което цели да премахне дразненето на стимула и да върне състоянието на еквилибриум.

Нулева зона (какво е емоция)

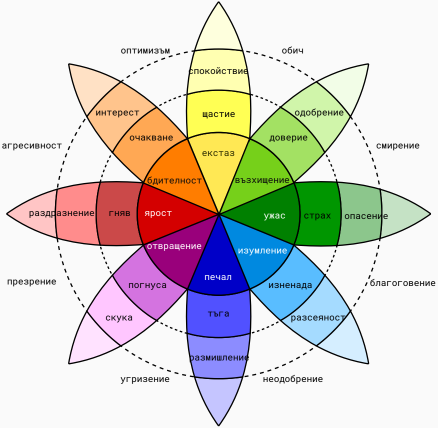


Нулева зона (какво е емоция)



+ Всяка емоция може да се изрази като комбинация на основните

Нулева зона (какво е емоция)



+ Всяка емоция може да се изрази като комбинация на основните

– Осем е голямо число

Нулева зона (какво е емоция)

- VAD модела - Алберт Мейерабиан и Джеймс Ръсел (1974)

Нулева зона (какво е емоция)

- VAD модела - Алберт Мейерабиан и Джеймс Ръсел (1974)

Нулева зона (какво е емоция)

- VAD модела - Алберт Мейерабиан и Джеймс Ръсел (1974)

- В сигнала от реч се измерва по-лесно активацията

Нулева зона (какво е емоция)

- VAD модела - Алберт Мейерабиан и Джеймс Ръсел (1974)

- В сигнала от реч се измерва по-лесно активацията
- В сигнала от ЕЕГ се измерва по-лесно валентността

Нулева зона (какво е емоция)

Избрани емоции:

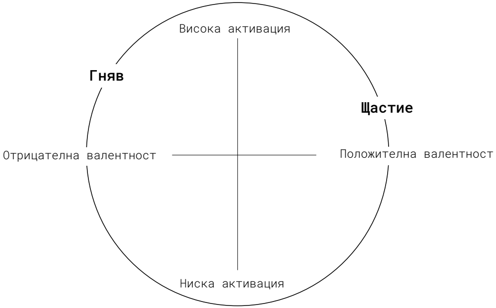
Избрани емоции:

- Гняв

Нулева зона (какво е емоция)

Избрани емоции:

- Гняв
- Щастие



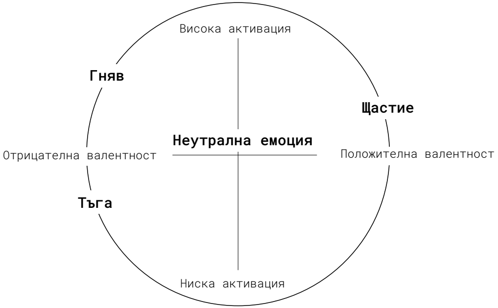
Избрани емоции:

- Гняв
- Щастие
- Неутрална емоция

Нулева зона (какво е емоция)

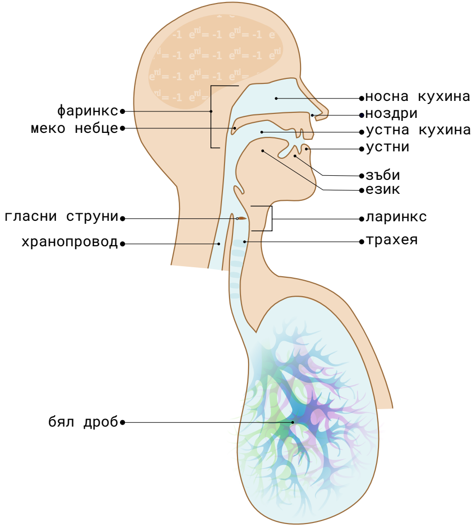
Избрани емоции:

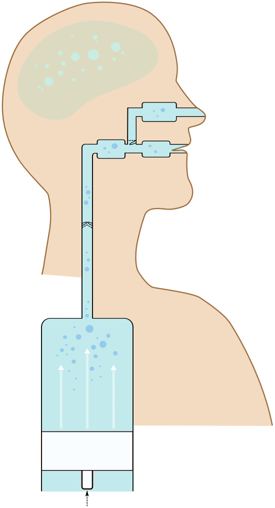
- Гняв
- Щастие
- Неутрална емоция
- Тъга



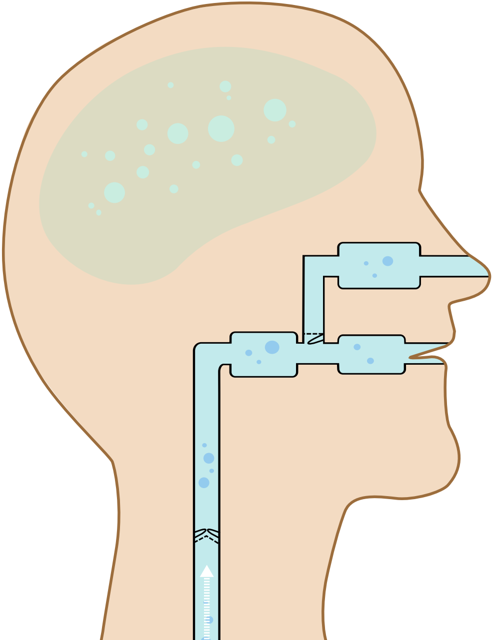
Сигнал от реч

Сигнал от реч - физическа обосновка





Сигнал от реч - физическа обосновка



Сигнал от реч - физическа обосновка

Видове звуци:

Сигнал от реч - физическа обосновка

Видове звуци:

- Озвучени - “а“

Сигнал от реч - физическа обосновка

Видове звуци:

- Озвучени - “а“
- Проходни (фрикативни) - “с“

Сигнал от реч - физическа обосновка

Видове звуци:

- Озвучени - “а“
- Проходни (фрикативни) - “с“
- Преградни - “п“

Сигнал от реч - физическа обосновка

Видове звуци:

- Озвучени - “а"
- Проходни (фрикативни) - “с"
- Преградни - “п"

Реч

Сигнал от реч - физическа обосновка

Видове звуци:

- Озвучени - “а“
- Проходни (фрикативни) - “с“
- Преградни - “п“

Реч $\rightarrow$ думи

Сигнал от реч - физическа обосновка

Видове звуци:

- Озвучени - “а“
- Проходни (фрикативни) - “с“
- Преградни - “п“

Реч $\rightarrow$ думи $\rightarrow$ фонеми

Сигнал от реч - физическа обосновка

Видове звуци:

- Озвучени - “а“
- Проходни (фрикативни) - “с“
- Преградни - “п“

Реч $\rightarrow$ думи $\rightarrow$ фонеми

“Страхът стискаше гърлото, задушаваше гласа.“

Сигнал от реч - физическа обосновка

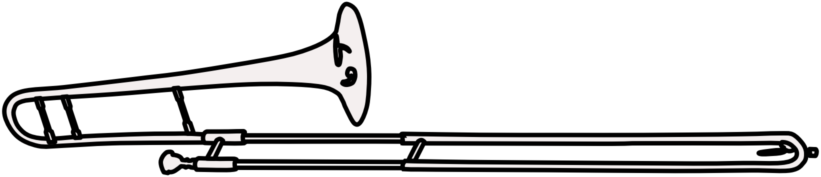
- Спектрални характеристики

Сигнал от реч - физическа обосновка

- Спектрални характеристики
- Честотна пропускливост

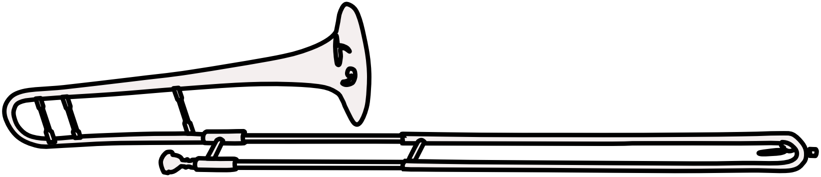
Сигнал от реч - физическа обосновка

- Спектрални характеристики
- Честотна пропускливост



Сигнал от реч - физическа обосновка

- Спектрални характеристики
- Честотна пропускливост



За да изследваме подлежащата емоция, трябва да изследваме спектралните свойства на статична конфигурация на вокалния тракт.

Сигнал от реч - модел на тръбите

- Ще моделираме системата за производство на реч с модела на тръбите

Сигнал от реч - модел на тръбите

- Ще моделираме системата за производство на реч с модела на тръбите
- Искаме да отделим вокалния тракт от останалите компоненти

Сигнал от реч - модел на тръбите

- Ще моделираме системата за производство на реч с модела на тръбите
- Искаме да отделим вокалния тракт от останалите компоненти
- Да разгледаме фонемата “ъ“

Сигнал от реч - модел на тръбите

- Ще моделираме системата за производство на реч с модела на тръбите
- Искаме да отделим вокалния тракт от останалите компоненти
- Да разгледаме фонемата "ъ"
- Глотисът **g** трепти, вокалният тракт **v** филтрира сигнала, и вълната излиза и допълнително се променя от устните **r**

Сигнал от реч - модел на тръбите

- Ще моделираме системата за производство на реч с модела на тръбите
- Искаме да отделим вокалния тракт от останалите компоненти
- Да разгледаме фонемата “ъ”
- Глотисът **g** трепти, вокалният тракт **v** филтрира сигнала, и вълната излиза и допълнително се променя от устните **r**

  Ако $g(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} \mathcal{G}(z), v(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} \mathcal{V}(z), r(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} \mathcal{R}(z)$, а сигналът, който получаваме накрая, $y(t) = g(t) * v(t) * r(t), y(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} \mathcal{Y}(z)$, е изпълнено, че

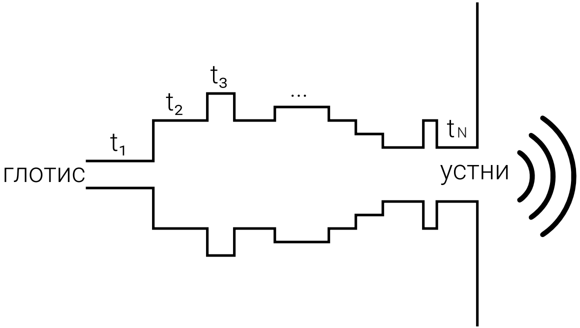
Сигнал от реч - модел на тръбите

- Ще моделираме системата за производство на реч с модела на тръбите
- Искаме да отделим вокалния тракт от останалите компоненти
- Да разгледаме фонемата "ъ"
- Глотисът g трепти, вокалният тракт v филтрира сигнала, и вълната излиза и допълнително се променя от устните r

  Ако $g(t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} \mathcal{G}(z), v(t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} \mathcal{V}(z), r(t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} \mathcal{R}(z)$, а сигналът, който получаваме накрая, $y(t) = g(t) * v(t) * r(t), y(t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} \mathcal{Y}(z)$, е изпълнено, че

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z)$

Сигнал от реч - модел на тръбите



- c - скорост на звука в еластична среда
- ρ - плътност на въздуха в тръбите
- A - лицето на напречното сечение в тръба (константа)
- $u = u(x, t)$ - е обемната скорост на позиция x в момента t
- $p = p(x, t)$ - е звуковото налягане

Сигнал от реч - модел на тръбите

Уравнения на Навие-Стокс:

$$
\begin{aligned}
-\frac{\partial \rho}{\partial x} &= \frac{\rho}{A}\frac{\partial u}{\partial t} \\
-\frac{\partial u}{\partial x} &= \frac{A}{\rho c^2}\frac{\partial \rho}{\partial t}
\end{aligned}
$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

Уравнения на Навие-Стокс:

$$-\frac{\partial \rho}{\partial x} = \frac{\rho}{A}\frac{\partial u}{\partial t}$$
$$-\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{A}{\rho c^2}\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

С решения от вида:

$$u(x,t) = \left[u^{+}\left(t - \frac{x}{c}\right) - u^{-}\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p(x,t) = \frac{\rho c}{A}\left[u^{+}\left(t - \frac{x}{c}\right) + u^{-}\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

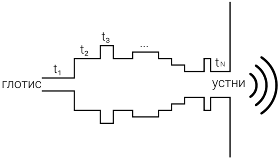
$$u(x, t) = \left[u^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p(x, t) = \frac{\rho c}{A}\left[u^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u(x,t) = \left[u^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

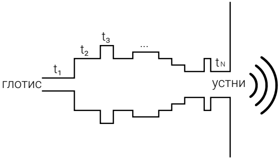
$$p(x,t) = \frac{\rho c}{A}\left[u^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$



Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$



Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$u_k^+\left(t - \frac{l_k}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{l_k}{c}\right) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{l_k}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{l_k}{c}\right)\right] = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$u_k^+\left(t-\frac{l_k}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{l_k}{c}\right) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{l_k}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{l_k}{c}\right)\right] = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t) \qquad \tau_k = \frac{l_k}{c}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$u_k^+(t - \tau_k) - u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t - \tau_k) + u_k^-(t + \tau_k)\right] = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$u_k^+\left(t - \tau_k\right) - \boldsymbol{u_k^-\left(t + \tau_k\right)} = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \tau_k\right) + u_k^-\left(t + \tau_k\right)\right] = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - \boldsymbol{u_k^-(t+\tau_k)} = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k)\right] = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = u_k^+(t-\tau_k) - u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k, t) = u_{k+1}(0, t)$$

$$p_k(l_k, t) = p_{k+1}(0, t)$$

$$u_k^+(t - \tau_k) - u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t - \tau_k) + \boldsymbol{u_k^-(t + \tau_k)}\right] = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

$$\boldsymbol{u_k^-(t + \tau_k)} = u_k^+(t - \tau_k) - u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

и изразяваме u_{k+1}^+

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$u_k^+(t - \tau_k) - u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t - \tau_k) + u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = u_k^+(t - \tau_k) - u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t - \tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k + A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k, t) = u_{k+1}(0, t)$$

$$p_k(l_k, t) = p_{k+1}(0, t)$$

$$u_k^+(t - \tau_k) - u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t - \tau_k) + u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = u_k^+(t - \tau_k) - u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t - \tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k + A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}\right]$$

$$t_k = \frac{2A_{k+1}}{A_k + A_{k+1}}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k, t) = u_{k+1}(0, t)$$

$$p_k(l_k, t) = p_{k+1}(0, t)$$

$$u_k^+(t - \tau_k) - u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t - \tau_k) + u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = u_k^+(t - \tau_k) - u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t - \tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k + A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}\right]$$

$$t_k = \frac{2A_{k+1}}{A_k + A_{k+1}}$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t - \tau_k) - u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t - \tau_k) + u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = u_k^+(t - \tau_k) - u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t - \tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k + A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}\right]$$

$$t_k = \frac{2A_{k+1}}{A_k + A_{k+1}}$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k, t) = u_{k+1}(0, t)$$

$$p_k(l_k, t) = p_{k+1}(0, t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t - \tau_k) - u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t - \tau_k) + u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = u_k^+(t - \tau_k) - u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t - \tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k + A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_{k+1}^+(t) = \boldsymbol{u_k^+(t-\tau_k)}\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k + A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_{k+1}^+(t) = \boldsymbol{u_k^+(t-\tau_k)}\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k + A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^+(t-\tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k + A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k - A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k, t) = u_{k+1}(0, t)$$

$$p_k(l_k, t) = p_{k+1}(0, t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t - \tau_k) - u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t - \tau_k) + u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t - \tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k + A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^+(t - \tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k + A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k - A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x, t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x, t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k, t) = u_{k+1}(0, t)$$

$$p_k(l_k, t) = p_{k+1}(0, t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+\,(t - \tau_k) - \boldsymbol{u_k^-\,(t + \tau_k)} = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+\,(t - \tau_k) + u_k^-\,(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t - \tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k + A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^+(t - \tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k + A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k - A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t - \tau_k) - \boldsymbol{u_k^-(t + \tau_k)} = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t - \tau_k) + u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t - \tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k + A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^+(t - \tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k + A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k - A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k - A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k + A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t - \tau_k) - u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t - \tau_k) + u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t - \tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k + A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^+(t - \tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k + A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k - A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k - A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k + A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k, t) = u_{k+1}(0, t)$$

$$p_k(l_k, t) = p_{k+1}(0, t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t - \tau_k) - u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t - \tau_k) + u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t - \tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k + A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^+(t - \tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k + A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k - A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k - A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k + A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t - \tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k + A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k - A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k - A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k + A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k, t) = u_{k+1}(0, t)$$

$$p_k(l_k, t) = p_{k+1}(0, t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t - \tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k + A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k - A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k - A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k + A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k, t) = u_{k+1}(0, t)$$

$$p_k(l_k, t) = p_{k+1}(0, t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t - \tau_k) = \frac{1}{1 + r_k}u_{k+1}^+(t) - \frac{r_k}{1 + r_k}u_{k+1}^-(t)$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = -\frac{r_k}{1 + r_k}u_{k+1}^+(t) + \frac{1}{1 + r_k}u_{k+1}^-(t)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t - \tau_k) = \frac{1}{1+r_k}u_{k+1}^+(t) - \frac{r_k}{1+r_k}u_{k+1}^-(t)$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = -\frac{r_k}{1+r_k}u_{k+1}^+(t) + \frac{1}{1+r_k}u_{k+1}^-(t)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k, t) = u_{k+1}(0, t)$$

$$p_k(l_k, t) = p_{k+1}(0, t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t - \tau_k) = \frac{1}{1 + r_k} u_{k+1}^+(t) - \frac{r_k}{1 + r_k} u_{k+1}^-(t)$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = -\frac{r_k}{1 + r_k} u_{k+1}^+(t) + \frac{1}{1 + r_k} u_{k+1}^-(t)$$

Нека $u_k(t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} U_k(z)$ $\quad z = e^{i\omega}$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k, t) = u_{k+1}(0, t)$$

$$p_k(l_k, t) = p_{k+1}(0, t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t - \tau_k) = \frac{1}{1 + r_k} u_{k+1}^+(t) - \frac{r_k}{1 + r_k} u_{k+1}^-(t)$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = -\frac{r_k}{1 + r_k} u_{k+1}^+(t) + \frac{1}{1 + r_k} u_{k+1}^-(t)$$

Нека $u_k(t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} U_k(z)$ $\qquad z = e^{i\omega}$

Тогава $u_k(t - \tau_k) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} z^{-\tau_k} U_k(z)$.

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k, t) = u_{k+1}(0, t)$$

$$p_k(l_k, t) = p_{k+1}(0, t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t - \tau_k) = \frac{1}{1 + r_k} u_{k+1}^+(t) - \frac{r_k}{1 + r_k} u_{k+1}^-(t)$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = -\frac{r_k}{1 + r_k} u_{k+1}^+(t) + \frac{1}{1 + r_k} u_{k+1}^-(t)$$

Нека $u_k(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_k(z)$ $\qquad z = e^{i\omega}$

Тогава $u_k(t - \tau_k) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} z^{-\tau_k} U_k(z)$.

$$U_k^+(z) = \frac{z^{\tau_k}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{\tau_k}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-\tau_k}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-\tau_k}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k, t) = u_{k+1}(0, t)$$

$$p_k(l_k, t) = p_{k+1}(0, t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t - \tau_k) = \frac{1}{1 + r_k} u_{k+1}^+(t) - \frac{r_k}{1 + r_k} u_{k+1}^-(t)$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = -\frac{r_k}{1 + r_k} u_{k+1}^+(t) + \frac{1}{1 + r_k} u_{k+1}^-(t)$$

Нека $u_k(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_k(z)$.

Тогава $u_k(t - \tau_k) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} z^{-\tau_k} U_k(z)$.

$$U_k^+(z) = \frac{z^{\tau_k}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{\tau_k}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-\tau_k}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-\tau_k}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z) \qquad \tau_k = 1/2$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k, t) = u_{k+1}(0, t)$$

$$p_k(l_k, t) = p_{k+1}(0, t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_k + A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t - \tau_k) = \frac{1}{1 + r_k} u_{k+1}^+(t) - \frac{r_k}{1 + r_k} u_{k+1}^-(t)$$

$$u_k^-(t + \tau_k) = -\frac{r_k}{1 + r_k} u_{k+1}^+(t) + \frac{1}{1 + r_k} u_{k+1}^-(t)$$

Нека $u_k(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_k(z)$.

Тогава $u_k(t - \tau_k) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} z^{-\tau_k} U_k(z)$.

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Огрничения при устните

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\, t) \,=\, \left[u_k^{+}\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^{-}\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,\, t) \,=\, \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^{+}\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^{-}\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^{+}(z) \,=\, \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^{+}(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^{-}(z)$$

$$U_k^{-}(z) \,=\, -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^{+}(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^{-}(z)$$

Огрнаничения при устните

Сигнал от реч - модел на тръбите

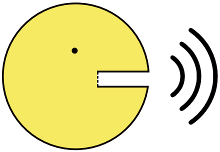
$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

Огрнаничения при устните



Сигнал от реч - модел на тръбите

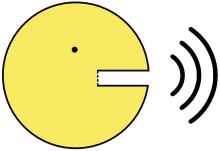
$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^{+}\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^{-}\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

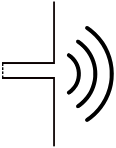
$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^{+}\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^{-}\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^{+}(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^{+}(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^{-}(z)$$

$$U_k^{-}(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^{+}(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^{-}(z)$$

Огрнаничения при устните





Сигнал от реч - модел на тръбите

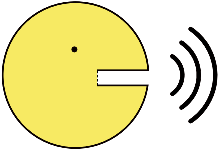
$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

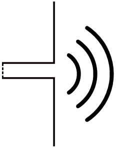
$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Огрнаничения при устните





$$\mathcal{P}_N(l_N, z) = Z_L(z)\mathcal{U}_N(l_N, z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

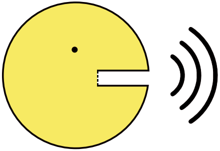
$$u_k(x,\, t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

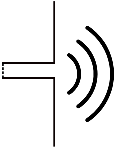
$$p_k(x,\, t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

Огрничения при устните





$$\mathcal{P}_N(l_N, z) = Z_L \mathcal{U}_N(l_N, z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

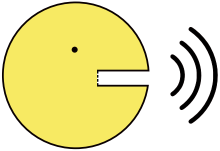
$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

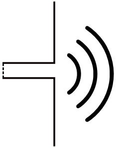
$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Огрничения при устните





$$\mathcal{P}_N(l_N, z) = Z_L \mathcal{U}_N(l_N, z) \qquad p(l_N, t) \stackrel{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} \mathcal{P}_N(l_N, z),\ u_N(l_N, t) \stackrel{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} \mathcal{U}_N(l_N, z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

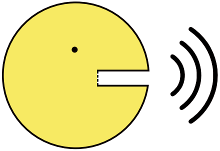
$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

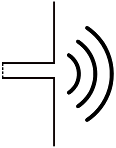
$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Огрничения при устните





$$p_N(l_N, t) = Z_L u_N(l_N, t)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

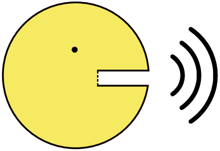
$$u_k(x,\, t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

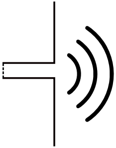
$$p_k(x,\, t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

Огрнаничения при устните





$$p_N(l_N, t) = Z_L u_N(l_N, t)$$

$$u_N^-(t + \tau_N)\frac{(\rho c + A_N Z_L)}{A_N} = u_N^+(t - \tau_N)\frac{(A_N Z_L - \rho c)}{A_N}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

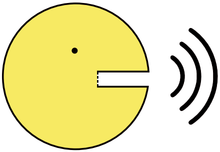
$$u_k(x,\, t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

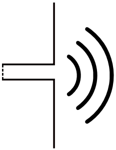
$$p_k(x,\, t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

Огрнаничения при устните





$$p_N(l_N, t) = Z_L u_N(l_N, t)$$

$$u_N^-(t + \tau_N)\frac{(\rho c + A_N Z_L)}{A_N} = u_N^+(t - \tau_N)\frac{(A_N Z_L - \rho c)}{A_N} \qquad r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Огрничения при устните

$$p_N(l_N, t) = Z_L u_N(l_N, t)$$

$$u_N^-(t+\tau_N) = -r_L u_N^+(t-\tau_N) \qquad r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\, t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

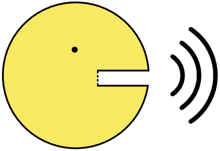
$$p_k(x,\, t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

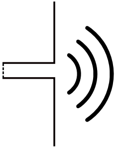
$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрнаничения при устните





$$p_N(l_N, t) = Z_L u_N(l_N, t)$$

$$u_N^-(t + \tau_N) = -r_L u_N^+(t - \tau_N) \qquad r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x, t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x, t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрничения при глотиса

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрнаничения при глотиса

$$U_1(0,z) = U_G(z) - \frac{P_1(0,z)}{Z_G(z)}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрничения при глотиса

$$U_1(0,z) = U_G(z) - \frac{P_1(0,z)}{Z_G}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрничения при глотиса

$$U_1(0,z) = U_G(z) - \frac{P_1(0,z)}{Z_G}$$

$$u_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_1(0,z), u_G(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_G(z), p_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} P_1(0,z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрничения при глотиса

$$U_1(0,z) = U_G(z) - \frac{P_1(0,z)}{Z_G}$$

$$u_1(0,t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} U_1(0,z), u_G(t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} U_G(z), p_1(0,t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} P_1(0,z)$$

$$u_1(0,t) = u_G(t) - \frac{p_1(0,t)}{Z_G}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x, t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x, t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрнаничения при глотиса

$$U_1(0, z) = U_G(z) - \frac{P_1(0, z)}{Z_G}$$

$$u_1(0, t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} U_1(0, z), u_G(t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} U_G(z), p_1(0, t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} P_1(0, z)$$

$$u_1(0, t) = u_G(t) - \frac{p_1(0, t)}{Z_G}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрначичения при глотиса

$$U_1(0,z) = U_G(z) - \frac{P_1(0,z)}{Z_G}$$

$$u_1(0,t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} U_1(0,z), u_G(t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} U_G(z), p_1(0,t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} P_1(0,z)$$

$$u_1(0,t) = u_G(t) - \frac{p_1(0,t)}{Z_G}$$

$$u_1^+(t) = u_G(t)\left[\frac{A_1 Z_G}{A_1 Z_G + \rho c}\right] + u_1^-(t)\left[\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрничения при глотиса

$$U_1(0,z) = U_G(z) - \frac{P_1(0,z)}{Z_G}$$

$$u_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_1(0,z), u_G(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_G(z), p_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} P_1(0,z)$$

$$u_1(0,t) = u_G(t) - \frac{p_1(0,t)}{Z_G}$$

$$u_1^+(t) = u_G(t)\left[\frac{A_1 Z_G}{A_1 Z_G + \rho c}\right] + u_1^-(t)\left[\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right] \qquad r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрничения при глотиса

$$U_1(0,z) = U_G(z) - \frac{P_1(0,z)}{Z_G}$$

$$u_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_1(0,z), u_G(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_G(z), p_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} P_1(0,z)$$

$$u_1(0,t) = u_G(t) - \frac{p_1(0,t)}{Z_G}$$

$$u_1^+(t) = u_G(t)\left[\frac{1 + r_G}{2}\right] + r_G u_1^-(t) \qquad r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрданичения при глотиса

$$U_1(0,z) = U_G(z) - \frac{P_1(0,z)}{Z_G}$$

$$u_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_1(0,z), u_G(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_G(z), p_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} P_1(0,z)$$

$$u_1(0,t) = u_G(t) - \frac{p_1(0,t)}{Z_G}$$

$$u_1^+(t) = u_G(t)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G u_1^-(t) \qquad r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Огрналичения при глотиса

$$U_1(0,z) = U_G(z) - \frac{P_1(0,z)}{Z_G}$$

$$u_1(0,t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} U_1(0,z), u_G(t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} U_G(z), p_1(0,t) \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} P_1(0,z)$$

$$u_1(0,t) = u_G(t) - \frac{p_1(0,t)}{Z_G}$$

$$u_1^+(t) = u_G(t)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G u_1^-(t) \qquad r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1 + r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^{+}(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^{+}(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^{-}(z)$$

$$U_k^{-}(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^{+}(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^{-}(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c} \right)$$

$$U_1^{+}(z) = U_G(z) \left[\frac{1 + r_G}{2} \right] + r_G U_1^{-}(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c} \right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z) \left[\frac{1 + r_G}{2} \right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c} \right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z) \left[\frac{1 + r_G}{2} \right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

$$U_{N+1}^-(z) = 0$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1 + r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

$$U_{N+1}^-(z) = 0 \qquad r_N = r_L$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

$$U_{N+1}^-(z) = 0 \qquad r_N = r_L \rightarrow A_{N+1} = \frac{\rho c}{Z_L}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z) \left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

$$U_{N+1}^-(z) = 0 \qquad r_N = r_L \rightarrow A_{N+1} = \frac{\rho c}{Z_L}$$

$$U_k = Q_k U_{k+1}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

$$U_{N+1}^-(z) = 0 \qquad r_N = r_L \rightarrow A_{N+1} = \frac{\rho c}{Z_L}$$

$$U_k = Q_k U_{k+1}$$

$$U_k = \begin{bmatrix} U_k^+(z) \\ U_k^-(z) \end{bmatrix}$$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \frac{z^{1/2}}{1+r_k} & \frac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \frac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix}$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

$$U_{N+1}^-(z) = 0 \qquad r_N = r_L \to A_{N+1} = \frac{\rho c}{Z_L}$$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \frac{z^{1/2}}{1+r_k} & \frac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \frac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix}$$

$$U_k = Q_k U_{k+1}$$

$$U_k = \begin{bmatrix} U_k^+(z) \\ U_k^-(z) \end{bmatrix}$$

$$U_1 =$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

$$U_{N+1}^-(z) = 0 \qquad r_N = r_L \rightarrow A_{N+1} = \frac{\rho c}{Z_L}$$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \frac{z^{1/2}}{1+r_k} & \frac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \frac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix}$$

$$U_k = Q_k U_{k+1}$$

$$U_k = \begin{bmatrix} U_k^+(z) \\ U_k^-(z) \end{bmatrix}$$

$$U_1 = Q_1 U_2$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

$$U_{N+1}^-(z) = 0 \qquad r_N = r_L \to A_{N+1} = \frac{\rho c}{Z_L}$$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \frac{z^{1/2}}{1+r_k} & \frac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \frac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix}$$

$$U_k = Q_k U_{k+1}$$

$$U_k = \begin{bmatrix} U_k^+(z) \\ U_k^-(z) \end{bmatrix}$$

$$U_1 = Q_1 U_2 = Q_1 Q_2 U_3$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

$$U_{N+1}^-(z) = 0 \qquad r_N = r_L \to A_{N+1} = \frac{\rho c}{Z_L}$$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \dfrac{z^{1/2}}{1+r_k} & \dfrac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \dfrac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \dfrac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix}$$

$$U_k = Q_k U_{k+1}$$

$$U_k = \begin{bmatrix} U_k^+(z) \\ U_k^-(z) \end{bmatrix}$$

$$U_1 = Q_1 U_2 = Q_1 Q_2 U_3 = \ldots = \left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right] U_{N+1}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

$$U_{N+1}^-(z) = 0 \qquad r_N = r_L \rightarrow A_{N+1} = \frac{\rho c}{Z_L}$$

$$U_k = Q_k U_{k+1}$$

$$U_k = \begin{bmatrix} U_k^+(z) \\ U_k^-(z) \end{bmatrix}$$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \frac{z^{1/2}}{1+r_k} & \frac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \frac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix}$$

$$U_1 = Q_1 U_2 = Q_1 Q_2 U_3 = \ldots = \left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right] U_{N+1} = \left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right] \begin{bmatrix} U_{N+1}^+(z) \\ U_{N+1}^-(z) \end{bmatrix}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

$$U_{N+1}^-(z) = 0 \qquad r_N = r_L \to A_{N+1} = \frac{\rho c}{Z_L}$$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \frac{z^{1/2}}{1+r_k} & \frac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \frac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix}$$

$$U_k = Q_k U_{k+1}$$

$$U_k = \begin{bmatrix} U_k^+(z) \\ U_k^-(z) \end{bmatrix}$$

$$U_1 = Q_1 U_2 = Q_1 Q_2 U_3 = \ldots = \left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right] U_{N+1} \qquad = \left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right] \begin{bmatrix} U_{N+1}^+(z) \\ U_{N+1}^-(z) \end{bmatrix} = \left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right] \begin{bmatrix} U_L(z) \\ 0 \end{bmatrix}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \dfrac{z^{1/2}}{1+r_k} & \dfrac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \dfrac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \dfrac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix} \qquad U_1 = \left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right] \begin{bmatrix} U_L(z) \\ 0 \end{bmatrix}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \dfrac{z^{1/2}}{1+r_k} & \dfrac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \dfrac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \dfrac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix} \quad U_1 = \left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}U_L(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \dfrac{z^{1/2}}{1+r_k} & \dfrac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \dfrac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \dfrac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix} \quad U_1 = \left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right] \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} U_L(z)$$

$$U_G(z) =$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \dfrac{z^{1/2}}{1+r_k} & \dfrac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \dfrac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \dfrac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix} \quad U_1 = \left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}U_L(z)$$

$$U_G(z) = \left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]U_1$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \dfrac{z^{1/2}}{1+r_k} & \dfrac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\[2ex] \dfrac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \dfrac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix} \quad U_1 = \left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right] \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} U_L(z)$$

$$U_G(z) = \left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right] U_1 = \left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right] \left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right] \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} U_L(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \dfrac{z^{1/2}}{1+r_k} & \dfrac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \dfrac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \dfrac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix}$$

$$U_G(z) = \left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}U_L(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^{+}(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^{+}(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^{-}(z)$$

$$U_k^{-}(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^{+}(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^{-}(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^{+}(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^{-}(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \dfrac{z^{1/2}}{1+r_k} & \dfrac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \dfrac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \dfrac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix}$$

$$U_G(z) = \left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}U_L(z)$$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \dfrac{z^{1/2}}{1+r_k} & \dfrac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \dfrac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \dfrac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \frac{z^{1/2}}{1+r_k} & \frac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \frac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix} \qquad U_G(z) = \left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix} U_L(z)$$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \frac{z^{1/2}}{1+r_k} & \frac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \frac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix} = z^{1/2}\begin{bmatrix} \frac{1}{1+r_k} & \frac{-r_k}{1+r_k} \\ \frac{-r_k z^{-1}}{1+r_k} & \frac{z^{-1}}{1+r_k} \end{bmatrix} = z^{1/2}\widehat{Q}_k$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z) \left[\frac{1 + r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = z^{1/2} \widehat{Q}_k$$

$$U_G(z) = \left[\frac{2}{1 + r_G}, -\frac{2r_G}{1 + r_G}\right] \left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right] \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} U_L(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = z^{1/2}\widehat{Q}_k$$

$$U_G(z) = \left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix} U_L(z)$$

$$U_G(z) = \left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix} U_L(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = z^{1/2}\widehat{Q}_k$$

$$U_G(z) = \left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix} U_L(z)$$

$$U_G(z) = \left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N} Q_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix} U_L(z) =$$
$$= \left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N} z^{1/2}\widehat{Q}_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix} U_L(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c} \right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z) \left[\frac{1+r_G}{2} \right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = z^{1/2} \widehat{Q}_k \qquad U_G(z) = \left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G} \right] \left[\prod_{i=1}^{N} Q_i \right] \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} U_L(z)$$

$$\begin{aligned} U_G(z) &= \left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G} \right] \left[\prod_{i=1}^{N} Q_i \right] \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} U_L(z) = \\ &= \left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G} \right] \left[\prod_{i=1}^{N} z^{1/2} \widehat{Q}_i \right] \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} U_L(z) \\ &= z^{N/2} \left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G} \right] \left[\prod_{i=1}^{N} \widehat{Q}_i \right] \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} U_L(z) \end{aligned}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c} \right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z) \left[\frac{1+r_G}{2} \right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = z^{1/2} \widehat{Q}_k$$

$$U_G(z) = z^{N/2} \left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G} \right] \left[\prod_{i=1}^{N} \widehat{Q}_i \right] \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} U_L(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = z^{1/2}\widehat{Q}_k$$

$$U_G(z) = z^{N/2}\left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N}\widehat{Q}_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}U_L(z)$$

$$U_L(z) = U_G(z)\mathcal{V}(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = z^{1/2} \widehat{Q}_k$$

$$U_G(z) = z^{N/2}\left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N} \widehat{Q}_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix} U_L(z)$$

$$U_L(z) = U_G(z)\mathcal{V}(z) \longleftrightarrow$$

$$\frac{1}{\mathcal{V}(z)} = \frac{U_G(z)}{U_L(z)}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = z^{1/2}\widehat{Q}_k$$

$$U_G(z) = z^{N/2}\left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N}\widehat{Q}_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}U_L(z)$$

$$U_L(z) = U_G(z)\mathcal{V}(z) \longleftrightarrow$$

$$\frac{1}{\mathcal{V}(z)} = \frac{U_G(z)}{U_L(z)} = \frac{z^{N/2}\left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N}\widehat{Q}_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}U_L(z)}{U_L(z)}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = z^{1/2}\widehat{Q}_k$$

$$U_G(z) = z^{N/2}\left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N}\widehat{Q}_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix} U_L(z)$$

$$U_L(z) = U_G(z)\mathcal{V}(z) \longleftrightarrow$$

$$\frac{1}{\mathcal{V}(z)} = \frac{U_G(z)}{U_L(z)} = \frac{z^{N/2}\left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N}\widehat{Q}_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix} U_L(z)}{U_L(z)} =$$

$$= z^{N/2}\left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N}\widehat{Q}_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = z^{1/2}\widehat{Q}_k \qquad U_G(z) = z^{N/2}\left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N}\widehat{Q}_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix} U_L(z)$$

$$U_L(z) = U_G(z)\mathcal{V}(z) \longleftrightarrow$$

$$\frac{1}{\mathcal{V}(z)} = z^{N/2}\left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N}\widehat{Q}_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид на $\mathcal{V}$

$$Q_k = z^{1/2}\widehat{Q}_k$$

$$U_G(z) = z^{N/2}\left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N}\widehat{Q}_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix} U_L(z)$$

$$U_L(z) = U_G(z)\mathcal{V}(z) \longleftrightarrow$$

$$\frac{1}{\mathcal{V}(z)} = z^{N/2}\left[\frac{2}{1+r_G}, -\frac{2r_G}{1+r_G}\right]\left[\prod_{i=1}^{N}\widehat{Q}_i\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix} \longleftrightarrow$$

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1+r_G)\prod_{i=1}^{N}(1+r_i)z^{-N/2}}{1-\sum_{i=1}^{N}\alpha_i z^{-i}}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1 + r_G) \prod\limits_{i=1}^{N} (1 + r_i) z^{-N/2}}{1 - \sum\limits_{i=1}^{N} \alpha_i z^{-i}}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1 + r_G) \prod_{i=1}^{N} (1 + r_i) z^{-N/2}}{1 - \sum_{i=1}^{N} \alpha_i z^{-i}}$$

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1+r_G)\prod\limits_{i=1}^{N}(1+r_i)z^{-N/2}}{1-\sum\limits_{i=1}^{N}\alpha_i z^{-i}}$$

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z)$$

$$\mathcal{G}(z)?$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1 + r_G) \prod_{i=1}^{N} (1 + r_i) z^{-N/2}}{1 - \sum_{i=1}^{N} \alpha_i z^{-i}}$$

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z)$$

$$\mathcal{G}(z)?$$

$$\mathcal{R}(z)?$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1 + r_G)\prod_{i=1}^{N}(1 + r_i)z^{-N/2}}{1 - \sum_{i=1}^{N}\alpha_i z^{-i}}$$

Общ вид на $\mathcal{R}$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1 + r_G) \prod_{i=1}^{N} (1 + r_i) z^{-N/2}}{1 - \sum_{i=1}^{N} \alpha_i z^{-i}}$$

Общ вид на $\mathcal{R}$

- Моделира се трудно

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1 + r_G) \prod_{i=1}^{N} (1 + r_i) z^{-N/2}}{1 - \sum_{i=1}^{N} \alpha_i z^{-i}}$$

Общ вид на $\mathcal{R}$

- Моделира се трудно
- Обикновено се ползва някакво много опростено представяне:

$$\mathcal{R}(z) = 1 - \gamma z^{-1}, \gamma < 1$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1 + r_G) \prod_{i=1}^{N} (1 + r_i) z^{-N/2}}{1 - \sum_{i=1}^{N} \alpha_i z^{-i}}$$

Общ вид на $\mathcal{R}$

- Моделира се трудно
- Обикновено се ползва някакво много опростено представяне:

$$\mathcal{R}(z) = 1 - \gamma z^{-1}, \gamma < 1$$

- $\gamma \approx 0.97$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1+r_G)\prod_{i=1}^{N}(1+r_i)z^{-N/2}}{1-\sum_{i=1}^{N}\alpha_i z^{-i}}$$

$$\mathcal{R}(z) = 1 - \gamma z^{-1}$$

Общ вид на $\mathcal{R}$

- Моделира се трудно
- Обикновено се ползва някакво много опростено представяне:

$$\mathcal{R}(z) = 1 - \gamma z^{-1}, \gamma < 1$$

- $\gamma \approx 0.97$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1+r_G)\prod_{i=1}^{N}(1+r_i)z^{-N/2}}{1-\sum_{i=1}^{N}\alpha_i z^{-i}}$$

$$\mathcal{R}(z) = 1 - \gamma z^{-1}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1 + r_G) \prod_{i=1}^{N} (1 + r_i) z^{-N/2}}{1 - \sum_{i=1}^{N} \alpha_i z^{-i}}$$

$$\mathcal{R}(z) = 1 - \gamma z^{-1}$$

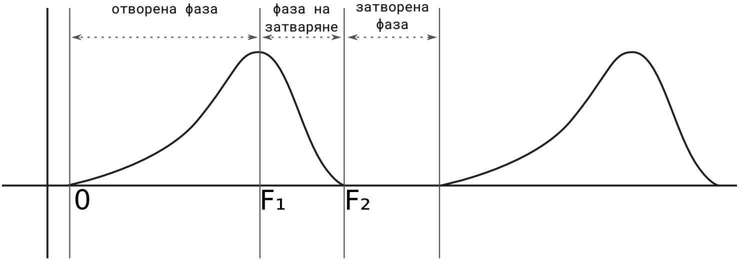
Общ вид на $\mathcal{G}$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1+r_G)\prod_{i=1}^{N}(1+r_i)z^{-N/2}}{1-\sum_{i=1}^{N}\alpha_i z^{-i}}$$

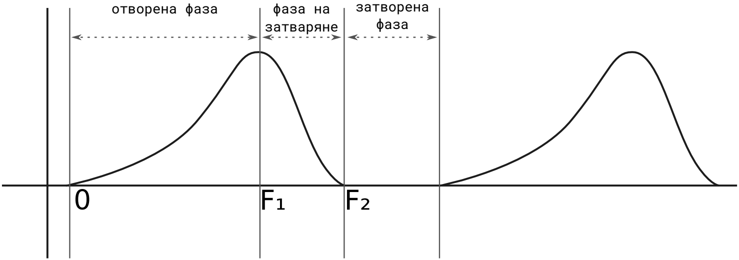
$$\mathcal{R}(z) = 1 - \gamma z^{-1}$$

Общ вид на $\mathcal{G}$



$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1+r_G)\prod_{i=1}^{N}(1+r_i)z^{-N/2}}{1-\sum_{i=1}^{N}\alpha_i z^{-i}} \qquad \mathcal{R}(z) = 1-\gamma z^{-1}$$

Общ вид на $\mathcal{G}$



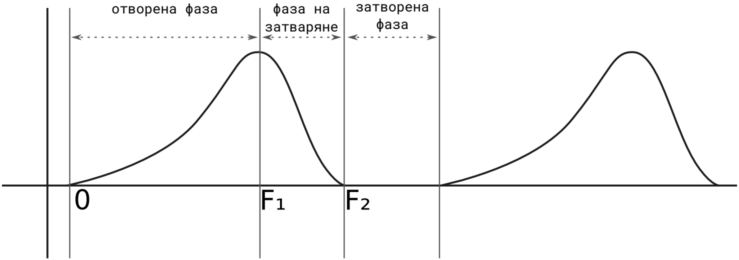
$$g(t) = \begin{cases} \frac{1}{2}(1-\cos(\pi n/F1)), & 0 \le t \le F_1 \\ \cos(\pi(n-F_1)/2(F_2-F_1)), & F_1 \le t \le F_2 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1+r_G)\prod_{i=1}^{N}(1+r_i)z^{-N/2}}{1-\sum_{i=1}^{N}\alpha_i z^{-i}}$$

$$\mathcal{R}(z) = 1 - \gamma z^{-1}$$

Общ вид на $\mathcal{G}$



$$g(t) = \begin{cases} \frac{1}{2}(1-\cos(\pi n/F1)), & 0 \leq t \leq F_1 \\ \cos(\pi(n-F_1)/2(F_2-F_1)), & F_1 \leq t \leq F_2 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

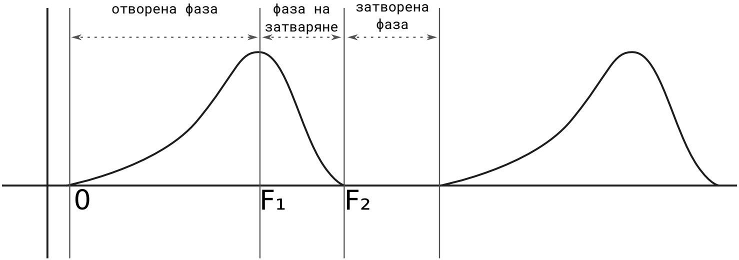
$$\mathcal{G}(z) = \frac{1}{(1-\beta z)^2}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1 + r_G) \prod_{i=1}^{N} (1 + r_i) z^{-N/2}}{1 - \sum_{i=1}^{N} \alpha_i z^{-i}}$$

$$\mathcal{R}(z) = 1 - \gamma z^{-1}$$

Общ вид на $\mathcal{G}$



$$g(t) = \begin{cases} \frac{1}{2}(1 - \cos(\pi n / F1)), & 0 \le t \le F_1 \\ \cos(\pi (n - F_1)/2(F_2 - F_1)), & F_1 \le t \le F_2 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$\mathcal{G}(z) = \frac{\prod_{i=0}^{K} (1 - \beta_i z^{-1})}{(1 - \beta z)^2}$$

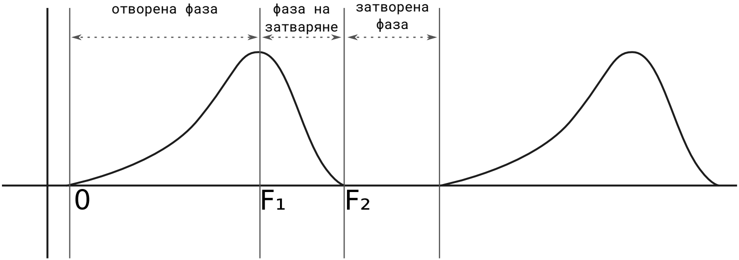
Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1+r_G)\prod_{i=1}^{N}(1+r_i)z^{-N/2}}{1-\sum_{i=1}^{N}\alpha_i z^{-i}}$$

$$\mathcal{R}(z) = 1 - \gamma z^{-1}$$

$$\mathcal{G}(z) = \frac{\prod_{i=0}^{K}(1-\beta_i z^{-1})}{(1-\beta z)^2}$$

Общ вид на $\mathcal{G}$



$$g(t) = \begin{cases} \frac{1}{2}(1-\cos(\pi n/F1)), & 0 \le t \le F_1 \\ \cos(\pi(n-F_1)/2(F_2-F_1)), & F_1 \le t \le F_2 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$\mathcal{G}(z) = \frac{\prod_{i=0}^{K}(1-\beta_i z^{-1})}{(1-\beta z)^2}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1 + r_G) \prod_{i=1}^{N} (1 + r_i) z^{-N/2}}{1 - \sum_{i=1}^{N} \alpha_i z^{-i}}$$

$$\mathcal{R}(z) = 1 - \gamma z^{-1}$$

$$\mathcal{G}(z) = \frac{\prod_{i=0}^{K} (1 - \beta_i z^{-1})}{(1 - \beta z)^2}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1 + r_G) \prod_{i=1}^{N} (1 + r_i) z^{-N/2}}{1 - \sum_{i=1}^{N} \alpha_i z^{-i}}$$

$$\mathcal{R}(z) = 1 - \gamma z^{-1}$$

$$\mathcal{G}(z) = \frac{\prod_{i=0}^{K} (1 - \beta_i z^{-1})}{(1 - \beta z)^2}$$

Общ вид на $\mathcal{Y}$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1 + r_G) \prod_{i=1}^{N} (1 + r_i) z^{-N/2}}{1 - \sum_{i=1}^{N} \alpha_i z^{-i}}$$

$$\mathcal{R}(z) = 1 - \gamma z^{-1}$$

$$\mathcal{G}(z) = \frac{\prod_{i=0}^{K} (1 - \beta_i z^{-1})}{(1 - \beta z)^2}$$

Общ вид на $\mathcal{Y}$

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1+r_G)\prod_{i=1}^{N}(1+r_i)z^{-N/2}}{1-\sum_{i=1}^{N}\alpha_i z^{-i}}$$

$$\mathcal{R}(z) = 1 - \gamma z^{-1}$$

$$\mathcal{G}(z) = \frac{\prod_{i=0}^{K}(1-\beta_i z^{-1})}{(1-\beta z)^2}$$

Общ вид на $\mathcal{Y}$

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z)$$

$$= \left[\frac{\prod_{i=0}^{K}(1-\beta_i z^{-1})}{(1-\beta z)^2}\right]\left[\frac{0.5(1+r_G)\prod_{i=1}^{N}(1+r_i)z^{-N/2}}{1-\sum_{i=1}^{N}\alpha_i z^{-i}}\right]\left[\frac{\prod_{i=0}^{K}(1-\beta_i z^{-1})}{(1-\beta z)^2}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{V}(z) = \frac{0.5(1+r_G)\prod_{i=1}^{N}(1+r_i)z^{-N/2}}{1-\sum_{i=1}^{N}\alpha_i z^{-i}}$$

$$\mathcal{R}(z) = 1 - \gamma z^{-1}$$

$$\mathcal{G}(z) = \frac{\prod_{i=0}^{K}(1-\beta_i z^{-1})}{(1-\beta z)^2}$$

Общ вид на $\mathcal{Y}$

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z)$$

$$= \left[\frac{\prod_{i=0}^{K}(1-\beta_i z^{-1})}{(1-\beta z)^2}\right]\left[\frac{0.5(1+r_G)\prod_{i=1}^{N}(1+r_i)z^{-N/2}}{1-\sum_{i=1}^{N}\alpha_i z^{-i}}\right]\left[\frac{\prod_{i=0}^{K}(1-\beta_i z^{-1})}{(1-\beta z)^2}\right]$$

$$= \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}},$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

Общ вид на $\mathcal{Y}$

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z)$$

$$= \left[\frac{\prod_{i=0}^{K}(1-\beta_i z^{-1})}{(1-\beta z)^2}\right]\left[\frac{0.5(1+r_G)\prod_{i=1}^{N}(1+r_i)z^{-N/2}}{1-\sum_{i=1}^{N}\alpha_i z^{-i}}\right]\left[\frac{\prod_{i=0}^{K}(1-\beta_i z^{-1})}{(1-\beta z)^2}\right]$$

$$= \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}},$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

- Система (дефиниция)

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

- Система (дефиниция) - Механизъм, който манипулира един или повече сигнали с някаква цел до получаване на нов сигнал, се нарича система.

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

- Система (дефиниция) - Механизъм, който манипулира един или повече сигнали с някаква цел до получаване на нов сигнал, се нарича система.
- Филтър

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

- Система (дефиниция) - Механизъм, който манипулира един или повече сигнали с някаква цел до получаване на нов сигнал, се нарича система.
- Филтър
- $g[n] \mapsto y[n]$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

- Система (дефиниция) - Механизъм, който манипулира един или повече сигнали с някаква цел до получаване на нов сигнал, се нарича система.
- Филтър
- $g[n] \mapsto y[n]$
- Линейна система (Дефиниция)

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

- Система (дефиниция) - Механизъм, който манипулира един или повече сигнали с някаква цел до получаване на нов сигнал, се нарича система.
- Филтър
- $g[n] \mapsto y[n]$
- Линейна система (Дефиниция) - Ако $x_1[n] \mapsto y_1[n]$ и $x_2[n] \mapsto y_2[n]$, то системата е линейна $\longleftrightarrow$ $\forall a, b \in \mathbb{R}\,(ax_1[n] + bx_2[n] \mapsto ay_1[n] + by_2[n])$

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

- Система (дефиниция) - Механизъм, който манипулира един или повече сигнали с някаква цел до получаване на нов сигнал, се нарича система.
- Филтър
- $g[n] \mapsto y[n]$
- Линейна система (Дефиниция) - Ако $x_1[n] \mapsto y_1[n]$ и $x_2[n] \mapsto y_2[n]$, то системата е линейна $\longleftrightarrow$ $\forall a, b \in \mathbb{R}\,(ax_1[n] + bx_2[n] \mapsto ay_1[n] + by_2[n])$
- Времево-инвариантна система (Дефиниция)

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

- Система (дефиниция) - Механизъм, който манипулира един или повече сигнали с някаква цел до получаване на нов сигнал, се нарича система.
- Филтър
- $g[n] \mapsto y[n]$
- Линейна система (Дефиниция) - Ако $x_1[n] \mapsto y_1[n]$ и $x_2[n] \mapsto y_2[n]$, то системата е линейна $\longleftrightarrow$ $\forall a, b \in \mathbb{R}\,(ax_1[n] + bx_2[n] \mapsto ay_1[n] + by_2[n])$
- Времево-инвариантна система (Дефиниция) - Нека $x[n] \mapsto y[n]$. Тогава, ако за всяко $n_0 : x[n - n_0] \mapsto y[n - n_0]$, то системата е времево-инвариантна.

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

- Система (дефиниция) - Механизъм, който манипулира един или повече сигнали с някаква цел до получаване на нов сигнал, се нарича система.
- Филтър
- $g[n] \mapsto y[n]$
- Линейна система (Дефиниция) - Ако $x_1[n] \mapsto y_1[n]$ и $x_2[n] \mapsto y_2[n]$, то системата е линейна $\longleftrightarrow$ $\forall a, b \in \mathbb{R}\,(ax_1[n] + bx_2[n] \mapsto ay_1[n] + by_2[n])$
- Времево-инвариантна система (Дефиниция) - Нека $x[n] \mapsto y[n]$. Тогава, ако за всяко $n_0 : x[n - n_0] \mapsto y[n - n_0]$, то системата е времево-инвариантна.
- $\sum\limits_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum\limits_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

- Система (дефиниция) - Механизъм, който манипулира един или повече сигнали с някаква цел до получаване на нов сигнал, се нарича система.
- Филтър
- $g[n] \mapsto y[n]$
- Линейна система (Дефиниция) - Ако $x_1[n] \mapsto y_1[n]$ и $x_2[n] \mapsto y_2[n]$, то системата е линейна $\longleftrightarrow$ $\forall a, b \in \mathbb{R}\,(ax_1[n] + bx_2[n] \mapsto ay_1[n] + by_2[n])$
- Времево-инвариантна система (Дефиниция) - Нека $x[n] \mapsto y[n]$. Тогава, ако за всяко $n_0 : x[n-n_0] \mapsto y[n-n_0]$, то системата е времево-инвариантна.
- $\sum\limits_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum\limits_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

$$\sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

Нека имаме линейна времево-инвариантна система.

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

Нека имаме линейна времево-инвариантна система.

$g[n]$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

$$\sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

Нека имаме линейна времево-инвариантна система.

$g[n]$

$$\delta[n] = \begin{cases} 1, & n = 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

Нека имаме линейна времево-инвариантна система.

$$g[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]\delta[n-k] \qquad \delta[n] = \begin{cases} 1, & n = 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

Нека имаме линейна времево-инвариантна система.

$$g[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]\delta[n-k] \qquad \delta[n] = \begin{cases} 1, & n = 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Ако $\delta[n-k] \mapsto h_k[n]$, тъй като системата е линейна:

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

Нека имаме линейна времево-инвариантна система.

$$g[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]\delta[n-k]$$

$$\delta[n] = \begin{cases} 1, & n = 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Ако $\delta[n-k] \mapsto h_k[n]$, тъй като системата е линейна:

$$g[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]\delta[n-k] \mapsto \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]h_k[n] = y[n]$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

Нека имаме линейна времево-инвариантна система.

$$g[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]\delta[n-k] \qquad \delta[n] = \begin{cases} 1, & n = 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Ако $\delta[n-k] \mapsto h_k[n]$, тъй като системата е линейна:

$$g[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]\delta[n-k] \mapsto \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]h_k[n] = y[n]$$

От времевата инвариантност, ако $\delta[n] \mapsto h[n]$, то $\delta[n-k] \mapsto h[n-k]$, следователно:

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

Нека имаме линейна времево-инвариантна система.

$$g[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]\delta[n-k] \qquad \delta[n] = \begin{cases} 1, & n = 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Ако $\delta[n-k] \mapsto h_k[n]$, тъй като системата е линейна:

$$g[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]\delta[n-k] \mapsto \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]h_k[n] = y[n]$$

От времевата инвариантност, ако $\delta[n] \mapsto h[n]$, то $\delta[n-k] \mapsto h[n-k]$, следователно:

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]h_k[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]h[n-k]$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

Нека имаме линейна времево-инвариантна система.

$$g[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]\delta[n-k] \qquad \delta[n] = \begin{cases} 1, & n = 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Ако $\delta[n-k] \mapsto h_k[n]$, тъй като системата е линейна:

$$g[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]\delta[n-k] \mapsto \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]h_k[n] = y[n]$$

От времевата инвариантност, ако $\delta[n] \mapsto h[n]$, то $\delta[n-k] \mapsto h[n-k]$, следователно:

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]h_k[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g[k]h[n-k] = (g * h)[n]$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

$$\sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

$$y[n] = (g * h)[n]$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

$$\sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

$$y[n] = (g * h)[n]$$

$$y[n] \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} Y(z), g[n] \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} G(z), h[n] \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} H(z), z = e^{iw}$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

$$\sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

$$y[n] = (g * h)[n]$$

$$Y(z) = G(z)H(z)$$

$$y[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} Y(z),\ g[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} G(z),\ h[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} H(z),\ z = e^{iw}$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

$$\sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

$$y[n] = (g * h)[n]$$

$$y[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} Y(z), g[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} G(z), h[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} H(z), z = e^{iw}$$

$$Y(z) = G(z)H(z)$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{G(z)}$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

$$y[n] = (g * h)[n] \qquad y[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} Y(z), g[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} G(z), h[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} H(z), z = e^{iw}$$

$$Y(z) = G(z)H(z)$$

$H(z) = \dfrac{Y(z)}{G(z)}$ - предавателна функция

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

$$\sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

$$y[n] = (g * h)[n]$$

$$y[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} Y(z),\ g[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} G(z),\ h[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} H(z),\ z = e^{iw}$$

$$Y(z) = G(z)H(z)$$

$H(z) = \dfrac{Y(z)}{G(z)}$ - предавателна функция

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

$$\sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

$$y[n] = (g * h)[n]$$

$$y[n] \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} Y(z),\, g[n] \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} G(z),\, h[n] \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} H(z),\, z = e^{iw}$$

$$Y(z) = G(z)H(z)$$

$H(z) = \dfrac{Y(z)}{G(z)}$ - предавателна функция

$$\sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m g[n-m]$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

$$y[n] = (g * h)[n] \qquad y[n] \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} Y(z), g[n] \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} G(z), h[n] \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} H(z), z = e^{iw}$$

$$Y(z) = G(z)H(z)$$

$H(z) = \dfrac{Y(z)}{G(z)}$ - предавателна функция

$$\sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m g[n-m] \qquad y[n] \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} Y(z), g[n] \xleftrightarrow{\mathcal{FS}} G(z)$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

$$y[n] = (g * h)[n] \qquad y[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} Y(z), g[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} G(z), h[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} H(z), z = e^{iw}$$

$$Y(z) = G(z)H(z)$$

$H(z) = \dfrac{Y(z)}{G(z)}$ - предавателна функция

$$\sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m g[n-m] \qquad y[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} Y(z), g[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} G(z)$$

$$\left[\sum_{k=0}^{N} a_k z^{-k}\right] \mathcal{Y}(z) = \left[\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}\right] \mathcal{G}(z)$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

$$y[n] = (g * h)[n] \qquad y[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} Y(z), g[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} G(z), h[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} H(z), z = e^{iw}$$

$$Y(z) = G(z)H(z)$$

$H(z) = \dfrac{Y(z)}{G(z)}$ - предавателна функция

$$\sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m g[n-m] \qquad y[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} Y(z), g[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} G(z)$$

$$\left[\sum_{k=0}^{N} a_k z^{-k}\right]\mathcal{Y}(z) = \left[\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}\right]\mathcal{G}(z)$$

$$\frac{\mathcal{Y}(z)}{\mathcal{G}(z)} = \frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{N} a_k z^{-k}}$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m x[n-m]$$

$$y[n] = (g*h)[n] \qquad y[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} Y(z), g[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} G(z), h[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} H(z), z = e^{iw}$$

$$Y(z) = G(z)H(z)$$

$H(z) = \dfrac{Y(z)}{G(z)}$ - предавателна функция

$$\sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m g[n-m] \qquad y[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} Y(z), g[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} G(z)$$

$$\left[\sum_{k=0}^{N} a_k z^{-k}\right]\mathcal{Y}(z) = \left[\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}\right]\mathcal{G}(z)$$

$$\frac{\mathcal{Y}(z)}{\mathcal{G}(z)} = H(z) = \frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{N} a_k z^{-k}}$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \frac{\mathcal{Y}(z)}{\mathcal{G}(z)} = H(z) = \frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{N} a_k z^{-k}}$$

$$y[n] = (g * h)[n] \qquad y[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} Y(z), g[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} G(z), h[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} H(z), z = e^{iw}$$

$$Y(z) = G(z)H(z)$$

$H(z) = \dfrac{Y(z)}{G(z)}$ - предавателна функция

$$\sum_{k=0}^{N} a_k y[n-k] = \sum_{m=0}^{M} b_m g[n-m] \qquad y[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} Y(z), g[n] \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} G(z)$$

$$\left[\sum_{k=0}^{N} a_k z^{-k}\right]\mathcal{Y}(z) = \left[\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}\right]\mathcal{G}(z)$$

$$\frac{\mathcal{Y}(z)}{\mathcal{G}(z)} = H(z) = \frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{N} a_k z^{-k}}$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

$$\frac{\mathcal{Y}(z)}{\mathcal{G}(z)} = H(z) = \frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{N} a_k z^{-k}}$$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}$$

$$\frac{\mathcal{Y}(z)}{\mathcal{G}(z)} = H(z) = \frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{N} a_k z^{-k}}$$

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z)$ и $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \frac{\mathcal{Y}(z)}{\mathcal{G}(z)} = H(z) = \frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{N} a_k z^{-k}}$$

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z)$ и $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$
- Производството на реч се описва от система $g[n] \mapsto y[n]$

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \frac{\mathcal{Y}(z)}{\mathcal{G}(z)} = H(z) = \frac{\sum\limits_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum\limits_{k=0}^{N} a_k z^{-k}}$$

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z)$ и $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$
- Производството на реч се описва от система $g[n] \mapsto y[n]$
- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$, трансферната функция $\mathcal{H} = \mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z)$ съдържа информация за вокалния тракт

Сигнал от реч - представяне със системи

$$\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z) = \mathcal{G}(z)\frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}} \qquad \frac{\mathcal{Y}(z)}{\mathcal{G}(z)} = H(z) = \frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{\sum_{k=0}^{N} a_k z^{-k}}$$

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z)$ и $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$
- Производството на реч се описва от система $g[n] \mapsto y[n]$
- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$, трансферната функция $\mathcal{H} = \mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z)$ съдържа информация за вокалния тракт
- Характеристиките, които ще ползваме, трябва да отделят информацията за $\mathcal{G}$ от тази за $\mathcal{H}$

Сигнал от реч - характеристики

Сигнал от реч - характеристики

Обща идея

Сигнал от реч - характеристики

Обща идея

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$

Обща идея

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$

- Взимаме логаритъм от модула

Обща идея

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$

- Взимаме логаритъм от модула
  $log(|\mathcal{Y}(z)|) = log(|\mathcal{G}(z)|) + log(|\mathcal{H}(z)|)$

Обща идея

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$

- Взимаме логаритъм от модула
  $log(|\mathcal{Y}(z)|) = log(|\mathcal{G}(z)|) + log(|\mathcal{H}(z)|)$

- Правим обратно Фурие преобразувание

Обща идея

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$

- Взимаме логаритъм от модула
  $log(|\mathcal{Y}(z)|) = log(|\mathcal{G}(z)|) + log(|\mathcal{H}(z)|)$

- Правим обратно Фурие преобразувание
  $c_y[n] = c_g[n] + c_h[n]$

Обща идея

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$

- Взимаме логаритъм от модула
  $log(|\mathcal{Y}(z)|) = log(|\mathcal{G}(z)|) + log(|\mathcal{H}(z)|)$

- Правим обратно Фурие преобразувание
  $c_y[n] = c_g[n] + c_h[n]$

- Вече имаме сбор на сигналите

По-подробно

По-подробно

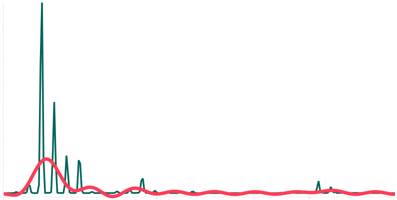
- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$

По-подробно

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$
- Взимайки модула губим информация за фазата

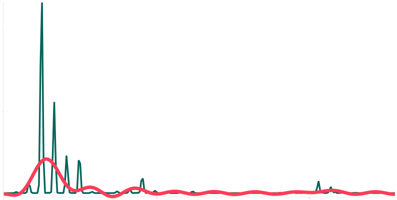
По-подробно

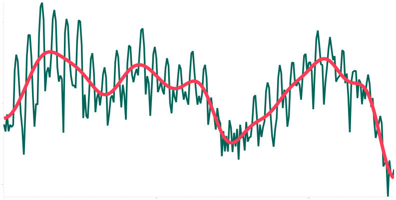
- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$
- Взимайки модула губим информация за фазата



По-подробно

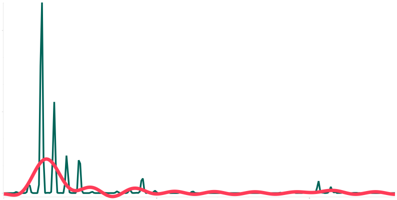
- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$
- Взимайки модула губим информация за фазата

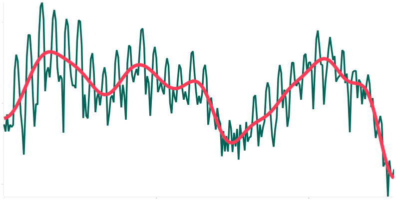




По-подробно

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$
- Взимайки модула губим информация за фазата



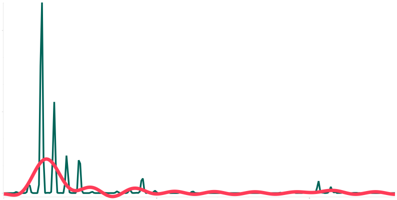


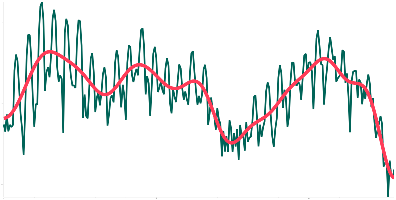
- Логаритъмът подчертава периодичността

Сигнал от реч - характеристики

По-подробно

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$
- Взимайки модула губим информация за фазата



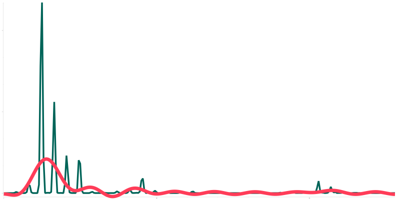


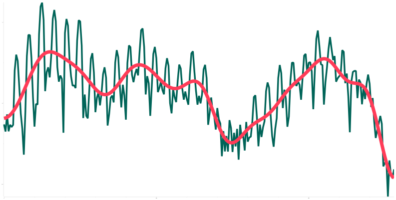
- Логаритъмът подчертава периодичността
- Кепстър

Сигнал от реч - характеристики

По-подробно

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$
- Взимайки модула губим информация за фазата



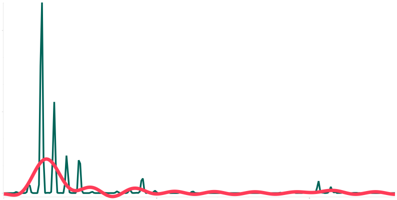


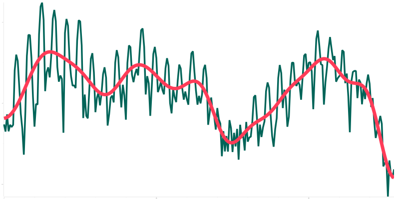
- Логаритъмът подчертава периодичността
- Кепстър
- $c_g[n]$ ще са във високите честоти

Сигнал от реч - характеристики

По-подробно

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{H}(z)$
- Взимайки модула губим информация за фазата





- Логаритъмът подчертава периодичността
- Кепстър
- $c_g[n]$ ще са във високите честоти
- $c_h[n]$ ще са в ниските

Извличане

Извличане

- Имаме wav файл, от който прочитаме дискретен сигнал $s[n], n = 0, \dots N$

Извличане

- Имаме wav файл, от който прочитаме дискретен сигнал $s[n], n = 0, \dots N$
- Броят на дискретите зависи от честотата на дискретизация F_s

Извличане

- Имаме wav файл, от който прочитаме дискретен сигнал $s[n], n = 0, \ldots N$
- Броят на дискретите зависи от честотата на дискретизация F_s
- Максималната честота, която можем да измерим, е Найкуист честотата $= \dfrac{F_s}{2}$

Извличане

- Имаме wav файл, от който прочитаме дискретен сигнал $s[n], n = 0, \ldots N$
- Броят на дискретите зависи от честотата на дискретизация F_s
- Максималната честота, която можем да измерим, е Найкуист честотата $= \dfrac{F_s}{2}$
- Разделяме сигнала на фреймове $s_t[i] = s[tS + 1], t = 0, \ldots, \lfloor \frac{N-L}{S} \rfloor$

Извличане

- Имаме wav файл, от който прочитаме дискретен сигнал $s[n], n = 0, \dots N$
- Броят на дискретите зависи от честотата на дискретизация F_s
- Максималната честота, която можем да измерим, е Найкуист честотата $= \dfrac{F_s}{2}$
- Разделяме сигнала на фреймове $s_t[i] = s[tS + 1], t = 0, \dots, \lfloor \frac{N-L}{S} \rfloor$ $L = 25ms, S = 10ms$

Извличане

- Имаме wav файл, от който прочитаме дискретен сигнал $s[n], n = 0, \ldots N$

- Броят на дискретите зависи от честотата на дискретизация F_s

- Максималната честота, която можем да измерим, е Найкуист честотата $= \dfrac{F_s}{2}$

- Разделяме сигнала на фреймове $s_t[i] = s[tS + 1], t = 0, \ldots, \lfloor \frac{N-L}{S} \rfloor$ $L = 25ms, S = 10ms$

- Търсим MFCC коефициентите за всеки фрейм

Сигнал от реч - характеристики

Извличане

Сигнал от реч - характеристики

Извличане

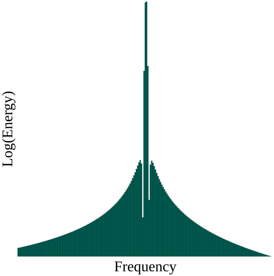
- Трябва да направим сигнала във всеки фрейм периодичен

Извличане

- Трябва да направим сигнала във всеки фрейм периодичен
- $w_{hamming}[n] = \begin{cases} 0.54 - 0.46\cos\frac{2\pi n}{L}, & 0 \le n < L \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$

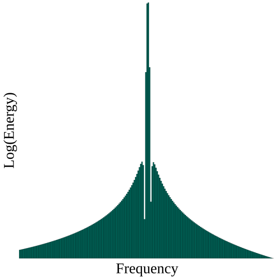
Извличане

- Трябва да направим сигнала във всеки фрейм периодичен
- $w_{hamming}[n] = \begin{cases} 0.54 - 0.46\cos\frac{2\pi n}{L}, & 0 \leq n < L \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$



Извличане

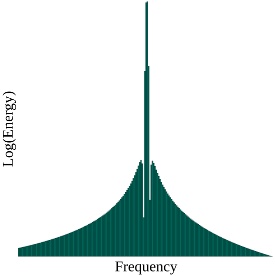
- Трябва да направим сигнала във всеки фрейм периодичен
- $w_{hamming}[n] = \begin{cases} 0.54 - 0.46 \cos \frac{2\pi n}{L}, & 0 \leq n < L \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$



- Умножаваме сигнала по прозореца $x_t[n] = s_t[n] w_{hamming}[n]$

Извличане

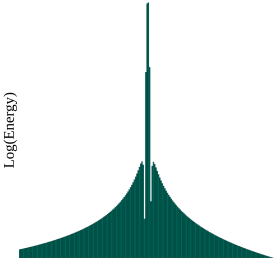
- Трябва да направим сигнала във всеки фрейм периодичен
- $w_{hamming}[n] = \begin{cases} 0.54 - 0.46\cos\frac{2\pi n}{L}, & 0 \le n < L \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$



- Умножаваме сигнала по прозореца $x_t[n] = s_t[n] w_{hamming}[n]$
- $x_t[n]$ вече е периодичен и можем да правим бързо Фурие преобразуване

Извличане

- Трябва да направим сигнала във всеки фрейм периодичен
- $w_{hamming}[n] = \begin{cases} 0.54 - 0.46\cos\frac{2\pi n}{L}, & 0 \leq n < L \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$



- Умножаваме сигнала по прозореца $x_t[n] = s_t[n] w_{hamming}[n]$
- $x_t[n]$ вече е периодичен и можем да правим бързо Фурие преобразуване
- $a_{k,t} = \frac{1}{L}\sum^{L-1} x_t[n] e^{-\frac{2\pi ikn}{L}}$

Сигнал от реч - характеристики

Извличане

Сигнал от реч - характеристики

Извличане

- Няколко особености на слуха

Сигнал от реч - характеристики

Извличане

- Няколко особености на слуха
- Закон на Вебер-Фехнер

Сигнал от реч - характеристики

Извличане

- Няколко особености на слуха
- Закон на Вебер-Фехнер - големината на усещането за определено дразнение е пропорционално на логаритъма на самото дразнение

Сигнал от реч - характеристики

Извличане

- Няколко особености на слуха
- Закон на Вебер-Фехнер - големината на усещането за определено дразнение е пропорционално на логаритъма на самото дразнение
- Мел скала

Сигнал от реч - характеристики

Извличане

- Няколко особености на слуха
- Закон на Вебер-Фехнер - големината на усещането за определено дразнение е пропорционално на логаритъма на самото дразнение
- Мел скала $m = 2595 \log_1 0 \left(1 + \frac{f}{100}\right)$

Извличане

- Няколко особености на слуха
- Закон на Вебер-Фехнер - големината на усещането за определено дразнение е пропорционално на логаритъма на самото дразнение
- Мел скала $m = 2595 \log_1 0 \left(1 + \frac{f}{100}\right)$
- Слухово маскиране

Извличане

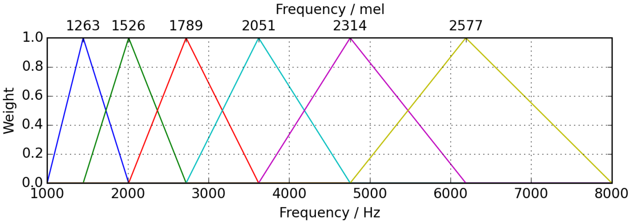
- Няколко особености на слуха
- Закон на Вебер-Фехнер - големината на усещането за определено дразнение е пропорционално на логаритъма на самото дразнение
- Мел скала $m = 2595 \log_1 0 \left(1 + \frac{f}{100}\right)$
- Слухово маскиране - охлювчето е изпълнено с базиларна мембрана, покрита с рецепторни клетки - косъмчета.

Извличане

- Няколко особености на слуха
- Закон на Вебер-Фехнер - големината на усещането за определено дразнение е пропорционално на логаритъма на самото дразнение
- Мел скала $m = 2595 \log_1 0 \left(1 + \frac{f}{100}\right)$
- Слухово маскиране - охлювчето е изпълнено с базиларна мембрана, покрита с рецепторни клетки - косъмчета.Електрическият сигнал на косъмчетата се предава на неврони.

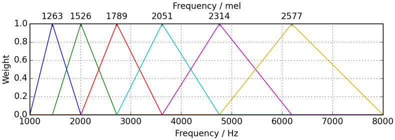
Извличане

- Няколко особености на слуха
- Закон на Вебер-Фехнер - големината на усещането за определено дразнение е пропорционално на логаритъма на самото дразнение
- Мел скала $m = 2595\log_1 0\left(1+\frac{f}{100}\right)$
- Слухово маскиране - охлювчето е изпълнено с базиларна мембрана, покрита с рецепторни клетки - косъмчета.Електрическият сигнал на косъмчетата се предава на неврони.



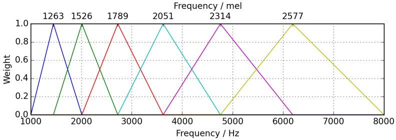
Сигнал от реч - характеристики

Извличане



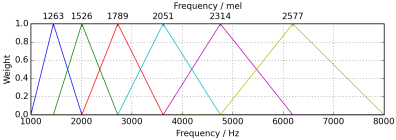
Сигнал от реч - характеристики

Извличане



- Взимаме логаритъм от енергиите в критичните области (M = 23):

Извличане



- Взимаме логаритъм от енергиите в критичните области (M = 23):

$$c_{m,t} = \log\left(\sum_{k=0}^{L-1} |a_{k,t}|^2 H_m[k, f[m-1], f[m], f[m+1]]\right), m = 0, 1, \ldots, M-1, M$$

$$H_m[k, start, center, end] = \begin{cases} \dfrac{k - start}{center - start}, & start \leq k \leq center \\ \dfrac{end - k}{end - center}, & center < k \leq end \end{cases}$$

$$f[m] = \frac{L}{F_s} melToHerz\left(\frac{m \times maxMel}{M+1}\right), maxMel = herzToMel\left(\frac{F_s}{2}\right)$$

Сигнал от реч - характеристики

Извличане

Сигнал от реч - характеристики

Извличане

- Правим обратно преобразуване

Извличане

- Правим обратно преобразуване

$$mfcc_t[n] = \sum_{m=0}^{M-1} c_{m,t} cos(n\pi \frac{m+1/2}{M}), n = 0, 1, \ldots, M-1$$

Извличане

- Правим обратно преобразуване
$$mfcc_t[n] = \sum_{m=0}^{M-1} c_{m,t} cos(n\pi \frac{m + 1/2}{M}), n = 0, 1, \ldots, M - 1$$

- Взимаме първите 13 коефициента, които кодират информацията за вокалния тракт

Извличане

- Правим обратно преобразуване

$$mfcc_t[n] = \sum_{m=0}^{M-1} c_{m,t} cos(n\pi \frac{m+1/2}{M}), n = 0, 1, \ldots, M-1$$

- Взимаме първите 13 коефициента, които кодират информацията за вокалния тракт

- За допълнително информация се взимат първите и вторите крайни разлики

Сигнал от реч - характеристики

Извличане

- Правим обратно преобразуване

$$mfcc_t[n] = \sum_{m=0}^{M-1} c_{m,t} cos(n\pi \frac{m+1/2}{M}), n = 0, 1, \ldots, M-1$$

- Взимаме първите 13 коефициента, които кодират информацията за вокалния тракт

- За допълнително информация се взимат първите и вторите крайни разлики

- За всеки фрейм получаваме 39 коефициента

Сигнал от реч - характеристики

- Започваме от дискретен сигнал: $s[n], n = 0, 1, \ldots, N$
- Разделяме сигнала $s[n]$ на феймове: $s_t[i] = s[tS + i]$,
- Прилагаме прозоречна функция: $x_t[n] = s_t[n]w_{hamming}[n]$, където
- Намираме Фурие коефициентите: $$a_{k,t} = \frac{1}{L}\sum_{n=0}^{L-1} x_t[n]e^{-\frac{2\pi ikn}{L}}$$
- Взимаме логаритъм от енергиите в критичните области: $c_{m,t} = \log\left(\sum_{k=0}^{L-1} |a_{k,t}|^2 H_m[k, f[m-1], f[m], f[m+1]]\right), m = 0, 1, \ldots, M-1$, M-брой критични области.
- Правим обратно преобразувание: $$mfcc_t[n] = \sum_{m=0}^{M-1} c_{m,t}cos(n\pi\frac{m+1/2}{M}), n = 0, 1, \ldots, M-1$$

Сигнал от реч - класификация

Сигнал от реч - класификация

- Гаусови смески

Сигнал от реч - класификация

- Гаусови смески - всяко непрекъснато разпределение върху $\mathbb{R}^n$ може да се приближи с линейна комбинация на достатъчно на брой гаусиани

Сигнал от реч - класификация

- Гаусови смески - всяко непрекъснато разпределение върху $\mathbb{R}^n$ може да се приближи с линейна комбинация на достатъчно на брой гаусиани
- Имаме по една смеска за всяка емоция $(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)$

Сигнал от реч - класификация

- Гаусови смески - всяко непрекъснато разпределение върху $\mathbb{R}^n$ може да се приближи с линейна комбинация на достатъчно на брой гаусиани
- Имаме по една смеска за всяка емоция $(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)$
- При подаден характеристичен вектор x, вероятностната плътност на смеска е:

Сигнал от реч - класификация

- Гаусови смески - всяко непрекъснато разпределение върху $\mathbb{R}^n$ може да се приближи с линейна комбинация на достатъчно на брой гаусиани
- Имаме по една смеска за всяка емоция $(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)$
- При подаден характеристичен вектор x, вероятностната плътност на смеска е:
  $p(x) = \sum_{k=1}^{K} \pi_k^e \mathcal{N}(x; \mu_k^e, \Sigma_k^e)$

Сигнал от реч - класификация

- Гаусови смески - всяко непрекъснато разпределение върху $\mathbb{R}^n$ може да се приближи с линейна комбинация на достатъчно на брой гаусиани
- Имаме по една смеска за всяка емоция $(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)$
- При подаден характеристичен вектор x, вероятностната плътност на смеска е: $p(x) = \sum_{k=1}^{K} \pi_k^e \mathcal{N}(x; \mu_k^e, \Sigma_k^e)$
- Правдоподобието на всички вектори X с етикет e спрямо $(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)$:

Сигнал от реч - класификация

- Гаусови смески - всяко непрекъснато разпределение върху $\mathbb{R}^n$ може да се приближи с линейна комбинация на достатъчно на брой гаусиани
- Имаме по една смеска за всяка емоция $(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)$
- При подаден характеристичен вектор x, вероятностната плътност на смеска е:
  $p(x) = \sum_{k=1}^{K} \pi_k^e \mathcal{N}(x; \mu_k^e, \Sigma_k^e)$
- Правдоподобието на всички вектори X с етикет e спрямо $(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)$:
  $p(X|(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)) = \prod_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{K} \pi_k^e \mathcal{N}(x_i; \mu_k^e, \Sigma_k^e).$

Сигнал от реч - класификация

- Гаусови смески - всяко непрекъснато разпределение върху $\mathbb{R}^n$ може да се приближи с линейна комбинация на достатъчно на брой гаусиани
- Имаме по една смеска за всяка емоция $(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)$
- При подаден характеристичен вектор x, вероятностната плътност на смеска е:

  $p(x) = \sum_{k=1}^{K} \pi_k^e \mathcal{N}(x; \mu_k^e, \Sigma_k^e)$
- Правдоподобието на всички вектори X с етикет e спрямо $(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)$:

  $p(X|(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)) = \prod_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{K} \pi_k^e \mathcal{N}(x_i; \mu_k^e, \Sigma_k^e).$
- За всяка емоция намираме Гаусовата смеска, която максимизира логаритъм от правдоподобието на съответните вектори

Сигнал от реч - класификация

- Гаусови смески - всяко непрекъснато разпределение върху $\mathbb{R}^n$ може да се приближи с линейна комбинация на достатъчно на брой гаусиани
- Имаме по една смеска за всяка емоция $(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)$
- При подаден характеристичен вектор x, вероятностната плътност на смеска е:
  $p(x) = \sum_{k=1}^{K} \pi_k^e \mathcal{N}(x; \mu_k^e, \Sigma_k^e)$
- Правдоподобието на всички вектори X с етикет e спрямо $(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)$:
  $p(X|(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)) = \prod_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{K} \pi_k^e \mathcal{N}(x_i; \mu_k^e, \Sigma_k^e).$
- За всяка емоция намираме Гаусовата смеска, която максимизира логаритъм от правдоподобието на съответните вектори - ЕМ метод

Сигнал от реч - класификация

- Гаусови смески - всяко непрекъснато разпределение върху $\mathbb{R}^n$ може да се приближи с линейна комбинация на достатъчно на брой гаусиани
- Имаме по една смеска за всяка емоция $(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)$
- При подаден характеристичен вектор x, вероятностната плътност на смеска е:
  $p(x) = \sum_{k=1}^{K} \pi_k^e \mathcal{N}(x; \mu_k^e, \Sigma_k^e)$
- Правдоподобието на всички вектори X с етикет e спрямо $(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)$:
  $p(X|(\hat{\pi}^e, \hat{\mu}^e, \hat{\Sigma}^e)) = \prod_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{K} \pi_k^e \mathcal{N}(x_i; \mu_k^e, \Sigma_k^e).$
- За всяка емоция намираме Гаусовата смеска, която максимизира логаритъм от правдоподобието на съответните вектори - EM метод
- За първоначално разбиване на векторите се ползва K-means++