



Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Επεξεργασία Ομιλίας και Φυσικής Γλώσσας

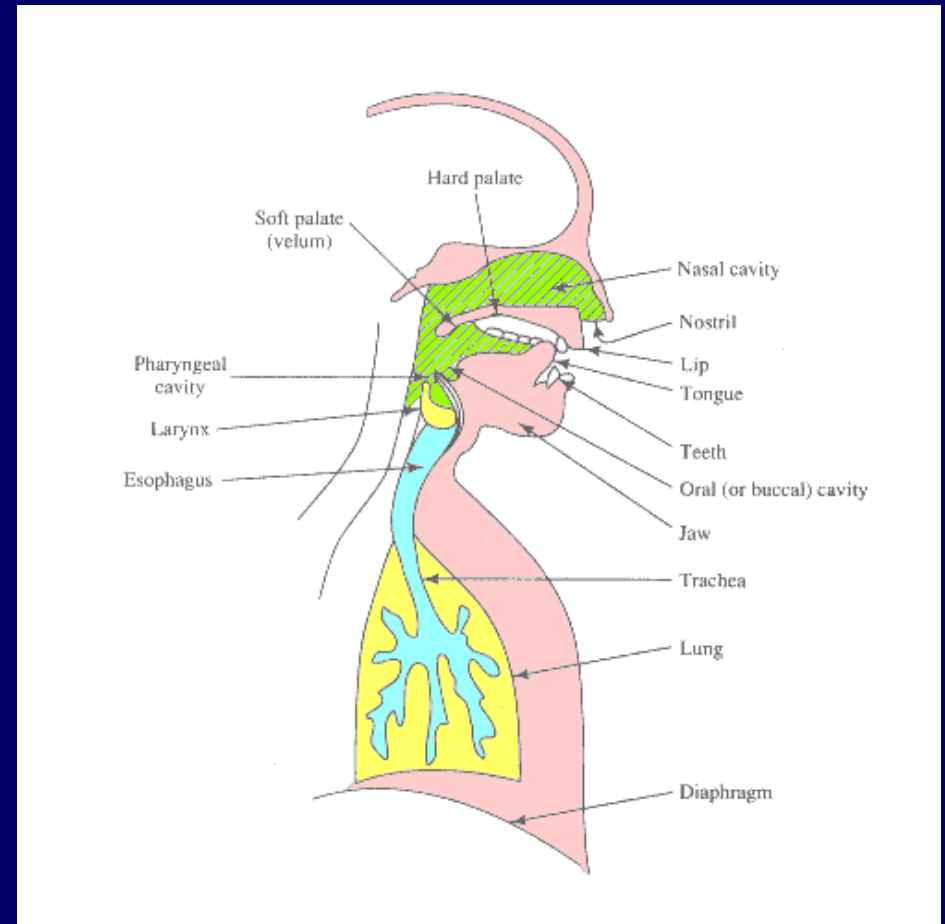
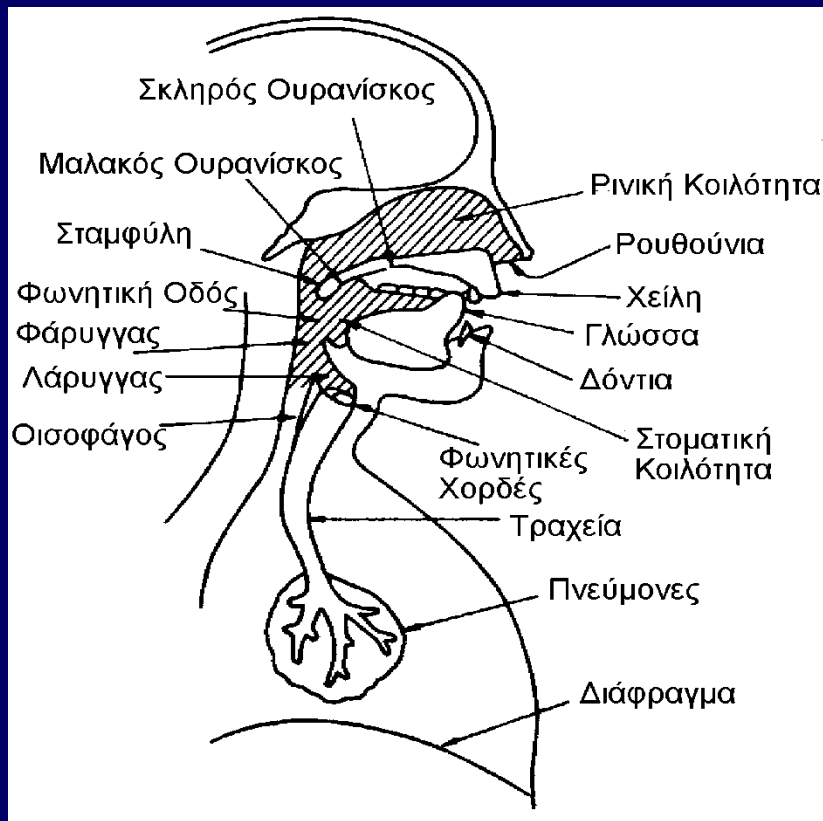
Ενότητα 3: Μοντελοποίηση της παραγωγής της φυσικής ομιλίας

Γεώργιος Κουρουπέτρογλου

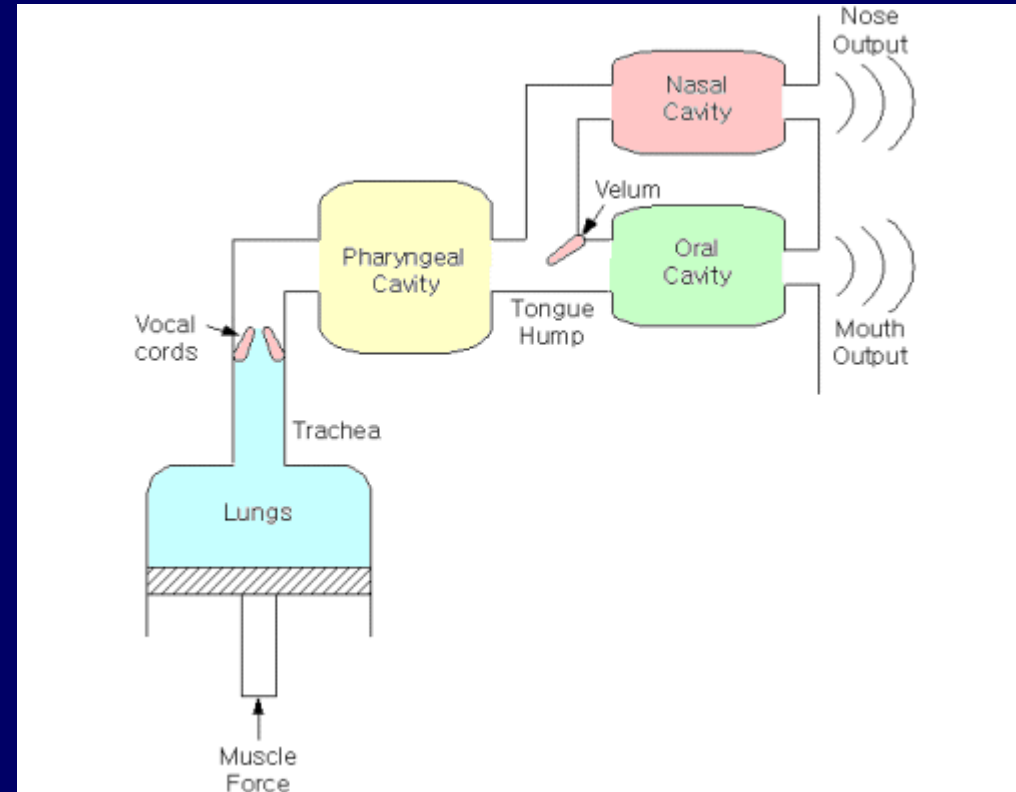
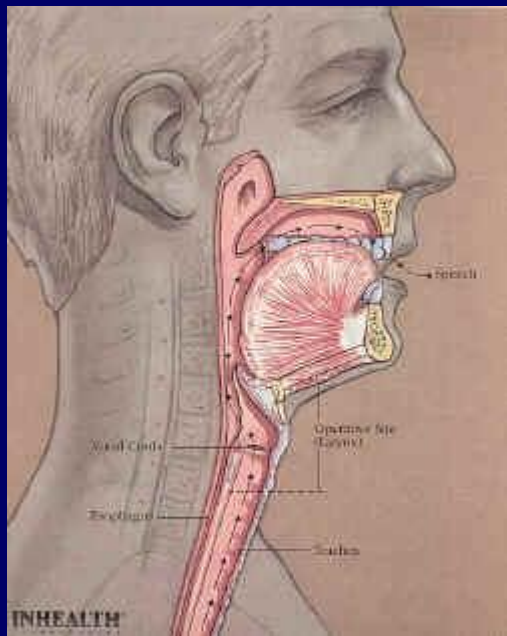
koupe@di.uoa.gr



Μοντελοποίηση Φωνητικών οργάνων Παραγωγής Ομιλίας



Μηχανικό ανάλογο



Μοντέλα Παραγωγής Ομιλίας (1/2)

Θεωρία ακουστικής για την παραγωγή ομιλίας

Μηχανισμός παραγωγής κύματος ομιλίας:

- παραγωγή ηχητικής πηγής (έμφωνες, άφωνες)
- Άρθρωση μέσω της φωνητικής οδού
- ακτινοβολία από τα χείλη και / ή τα ρουθούνια

Ηλεκτρικά Ισοδύναμα Κυκλώματα

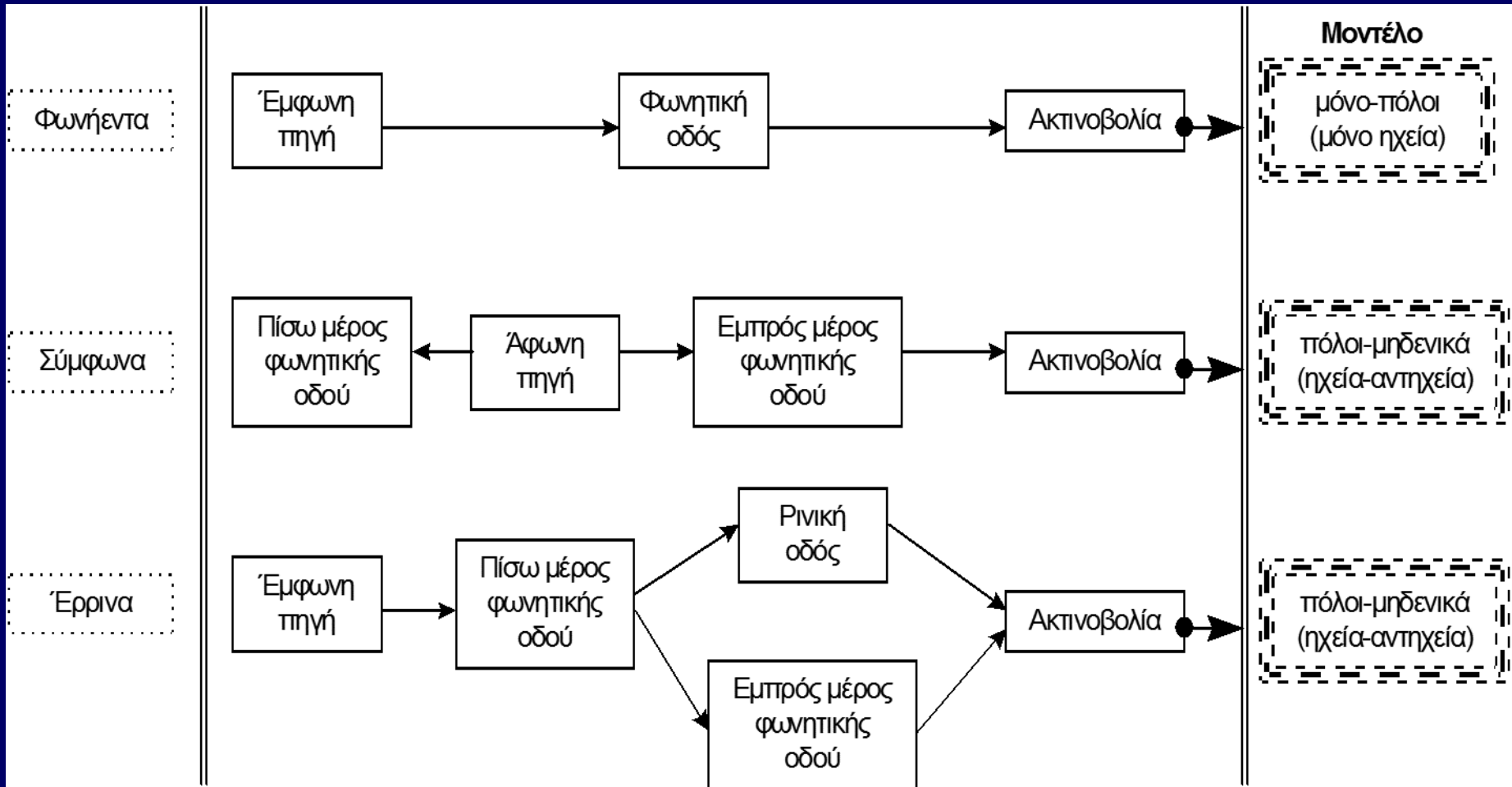
- μοντέλο έμφωνης πηγής ~ γεννήτρια περιοδικών παλμών ή ασυμμετρικών τριγωνικών κυμάτων
 - ✓ Περίοδος παλμών ~ θεμελιώδη περίοδο
 - ✓ Τιμή κορυφής ηχητικής πηγής ~ ένταση φωνής
- μοντέλο άφωνης πηγής ~ γεννήτρια λευκού θορύβου
 - ✓ Μέση ενέργεια ~ ένταση της φωνής

Μοντέλα Παραγωγής Ομιλίας (2/2)

Ηλεκτρικά Ισοδύναμα Κυκλώματα (...συνέχεια)

- μοντέλο άρθρωσης ~ εν σειρά ή παράλληλη σύνδεση ορισμένων κυκλωμάτων συντονισμού ή αντισυντονισμού ~ ψηφιακό φίλτρο πολλαπλών σταδίων
- μοντέλο ακτινοβολίας ήχου ~ έμβολο προσκολλημένο σε διάφραγμα άπειρου επιπέδου (plane baffle)
 - ✓ Σύνθετη αντίσταση εκπομπής ~ σε σειρά κύκλωμα $L - r$
(r = απώλεια ενέργειας κατά την ακτινοβολία)
- διαδικασία παραγωγής ομιλίας ~ σύνδεση ηλεκτρικών ισοδύναμων κυκλωμάτων

Μοντέλα Διαδικασιών Παραγωγής Ομιλίας



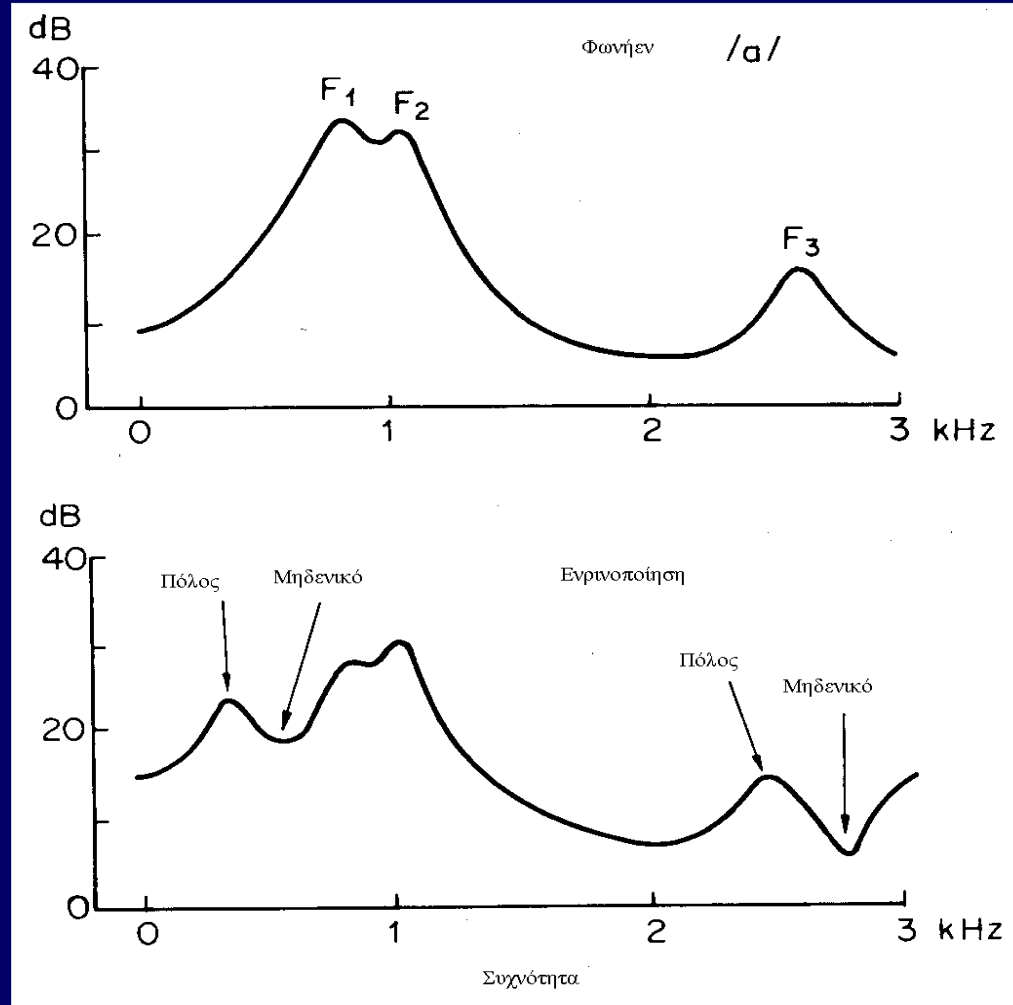
Ιδιότητες Μοντέλου Άρθρωσης (1/2)

- **Χαρακτηριστικά Συντονισμού:** εξαρτώνται μόνο από το σχήμα της φωνητικής οδού και όχι από τη θέση της ηχητικής πηγής κατά τη διάρκεια της παραγωγής, τόσο των φωνηέντων όσο και των σύμφωνων.
- **Χαρακτηριστικά Αντισυντονισμού:** κατά τη διάρκεια της παραγωγής σύμφωνων, εξαρτώνται κυρίως από τα χαρακτηριστικά αντισυντονισμού της φωνητικής οδού ανάμεσα στη γλωττίδα και τη θέση της ηχητικής πηγής.
- Οι επιδράσεις συντονισμού και αντισυντονισμού αναιρούνται συνήθως στην κλίμακα χαμηλής συχνότητας, αφού αυτές οι θέσεις σχεδόν συμπίπτουν.

Ιδιότητες Μοντέλου Άρθρωσης (2/2)

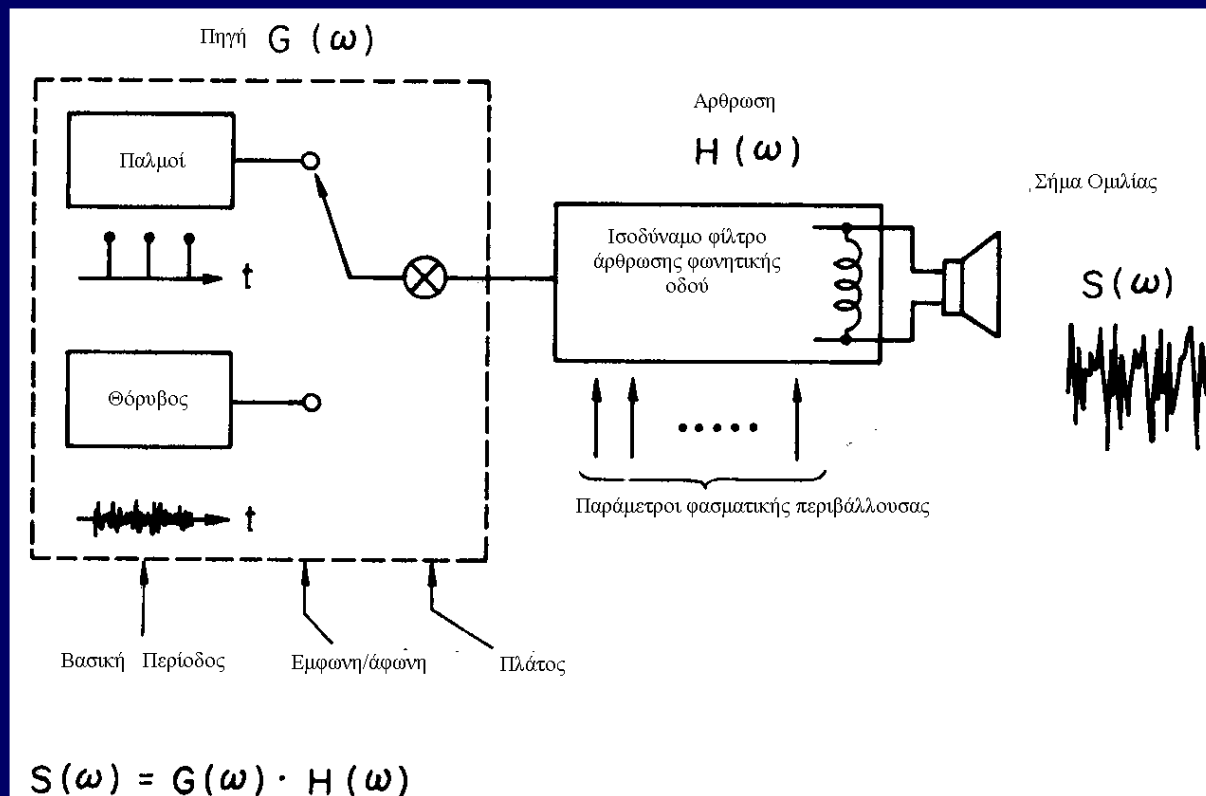
- Τα χαρακτηριστικά **συντονισμού** για τη **ρινική παραγωγή**, καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά της στοματικής κοιλότητας στις δύο πλευρές της σταμφύλης και από τα χαρακτηριστικά της ρινικής οδού.
- Τα χαρακτηριστικά **αντισυντονισμού** των **έρρινων συμφώνων** καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά της στοματικής κοιλότητας ξεκινώντας από τη σταμφύλη προς τα εμπρός.
- Τα χαρακτηριστικά **αντισυντονισμού** των **έρρινων φωνηέντων** εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της ρινικής οδού ξεκινώντας από τη σταμφύλη.

**Παράδειγμα της φασματικής αλλαγής που προκαλείται
από την ερρινοποίηση του φωνήεντος |a|
Χαρακτηρίζεται από ζεύγη πόλου-μηδενός σε 300-400Hz
και σε περίπου 2500Hz F1, F2, F3 : τα formants**



Μοντέλο Γραμμικά Διαχωρίσιμου Ισοδύναμου Κυκλώματος (1/2)

- Απόλυτος διαχωρισμός πηγής – άρθρωσης.
- Σύνδεση κατά σειρά κάθε ηλεκτρικών ισοδύναμων κυκλωμάτων.
- Ουδεμία αλληλεπίδραση μεταξύ ηλεκτρικών ισοδύναμων κυκλωμάτων.



Μοντέλο Γραμμικά Διαχωρίσιμου Ισοδύναμου Κυκλώματος (2/2)

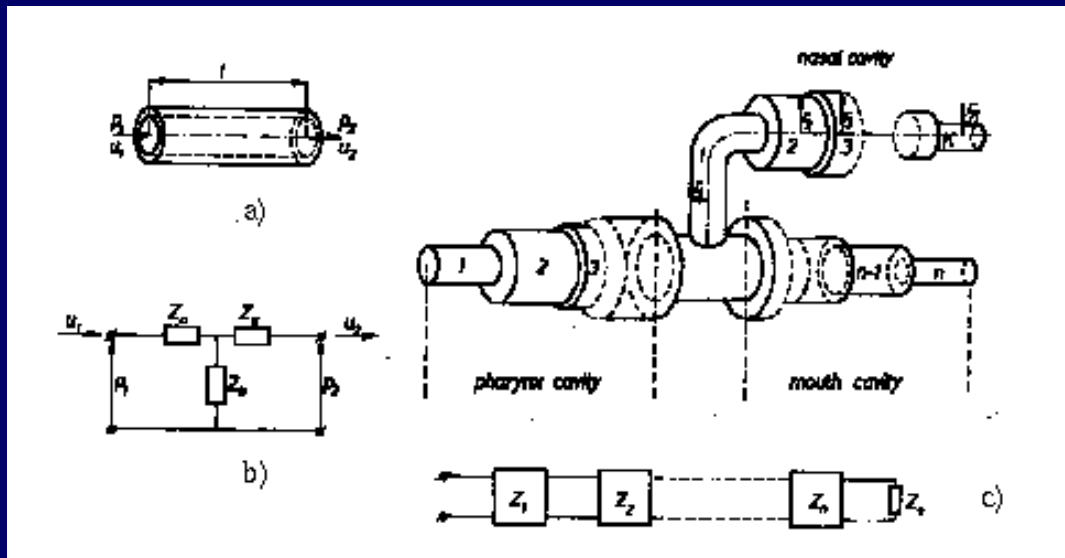
- πηγή = $G(\omega)$
- άρθρωση (συντονισμός και αντισυντονισμός) = $H(\omega)$
- σήμα ομιλίας = $S(\omega)$

$$S(\omega) = G(\omega) * H(\omega)$$

- ✓ ηχητική πηγή ~ πηγή παλμών και πηγή λευκού θορύβου
- ✓ άρθρωση ~ χαρακτηριστικά φίλτρου ολοπολικού μοντέλου
- ✓ τα φασματικά χαρακτηριστικά του $G(\omega)$ είναι γραμμικά
- ✓ το $H(\omega)$ είναι ένα ψηφιακό φίλτρο με χρονικά μεταβλητούς συντελεστές
- ✓ η χρονική μεταβολή του σχήματος της φωνητικής οδού, κατά την άρθρωση συνεχόμενης ομιλίας είναι σχετικά αργή ~ τα χαρακτηριστικά μετάδοσης μεταβλητού χρόνου παραμετρικού ψηφιακού φίλτρου μπορούν να θεωρηθούν ότι έχουν σχεδόν σταθερά χαρακτηριστικά για μικρές χρονικές περιόδους 20-40 ms.

Το προσεγγιστικό αρθρωτικό μοντέλο της φωνητικής οδού (1/2)

- a) ένα στοιχειώδες τμήμα της φωνητικής οδού που αναπαριστάται από ένα κυλινδρικό σωλήνα μήκους l και με επιφάνεια διατομής A ,
- b) ηλεκτρικό ισοδύναμο του στοιχειώδους τμήματος,
- c) το σύστημα του φαρυγγικού-στοματικού και του ρινικού αντηχείου



$$L = \frac{\rho \cdot l}{A} \qquad C = \frac{A \cdot l}{\rho \cdot c^2}$$

$$R = \frac{l \cdot S \cdot \sqrt{\rho \cdot \mu \cdot \omega}}{\sqrt{2} \cdot A^2}$$

$$G = \frac{(\eta - l) \cdot (l \cdot S)}{\rho \cdot c^2} \cdot \sqrt{\frac{\lambda \cdot \omega}{2 \cdot \xi \cdot \rho}}$$

Το προσεγγιστικό αρθρωτικό μοντέλο της φωνητικής οδού (2/2)

Οι ακουστικές ιδιότητες του στοιχειώδους ομοιόμορφα κυλινδρικού τμήματος είναι ισοδύναμες με το ηλεκτρικό ισοδύναμο του b) που περιλαμβάνει:

- L - επαγωγή (αντιστοιχούν στην ακουστική σύνθετη αντίσταση)
- C - χωρητικότητα (ακουστική σύζευξη)
- R - αντίσταση (ακουστικές απώλειες λόγω ιξώδους τριβής του αέρα κοντά στα τοιχώματα του σωλήνα)
- G - αγωγιμότητα (ακουστικές απώλειες λόγω θερμικών διεπαφών κοντά στα τοιχώματα του σωλήνα)

ρ : πυκνότητα αέρα, μ : συντελεστής ιξώδους αέρα,

η : αδιαβατική σταθερά αέρα, λ : θερμική αγωγιμότητα αέρα,

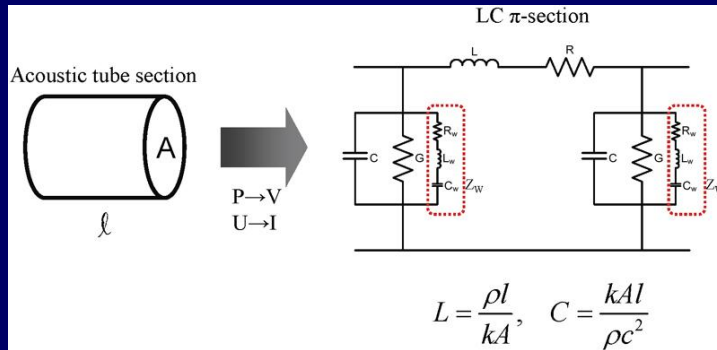
ξ : ειδική θερμική αγωγιμότητα αέρα, l : μήκος τμήματος σωλήνα,

c : ταχύτητα αέρα, A : επιφάνεια διατομής σωλήνα και

S : περιφέρεια ανοίγματος σωλήνα



Μοντέλο ηλεκτρικού κυκλώματος ενός μικρού μήκους ακουστικού κυλινδρικού σωλήνα μήκους ℓ και επιφάνειας διατομής A



Αναλογία:

$$P = uZ \quad (Z = \text{ακουστική εμπέδηση})$$

$$V = IR$$

- L - επαγωγή (αντιστοιχούν στην ακουστική σύνθετη αντίσταση)
- C - χωρητικότητα (ακουστική σύζευξη)
- R - αντίσταση (ακουστικές απώλειες λόγω ιξώδους τριβής του αέρα κοντά στα τοιχώματα του σωλήνα)
- G - αγωγιμότητα (ακουστικές απώλειες λόγω θερμικών διεπαφών κοντά στα τοιχώματα του σωλήνα)
- k - αυθαίρετη σταθερά
- P - ηχητική πίεση
- U - ταχύτητα όγκου ($U = su$): ο "ρυθμός" ροής του μέσου μετάδοσης από μία επιφάνεια εμβαδού s κάθετη στην ταχύτητα ροής
- u η ταχύτητα της ταλάντωσης των σωματιδίων του μέσου

Μοντέλο Μετάδοσης της Φωνητικής Οδού (1/7)

- Η φωνητική οδός αναλύεται ως κατανεμημένο παραμετρικό σύστημα μονοδιάστατου ακουστικού αγωγού του οποίου η διατομή διαρκώς αλλάζει
- Η μετάδοση του κύματος ομιλίας μπορεί να θεωρηθεί ως εκείνη του επιπέδου κύματος.
 - Μήκος φωνητικής οδού (ενήλικες): 15-17 cm
 - Μήκος κύματος λ κύματος ομιλίας: 35 cm στα 1 KHz
 - Μήκος κύματος λ κύματος ομιλίας: 7 cm στα 5 KHz
 - Ακτίνα φωνητικής οδού < 2 cm
- Η ρινική κοιλότητα (σε πρώτη προσέγγιση) παραλείπεται από την ανάπτυξη των κύριων χαρακτηριστικών της φωνητικής οδού για λόγους απλοποίησης.

Μοντέλο Μετάδοσης της Φωνητικής Οδού (2/7)

- Οι θερμικές απώλειες οι οποίες συνοδεύουν τη μετάδοση του ηχητικού κύματος, είναι αρκετά μικρές, ώστε να μπορούν να κριθούν αμελητέες κάτω από φυσιολογικές συνθήκες.
- Τα χαρακτηριστικά της φωνητικής οδού μπορούν να αναπαρασταθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια δίνοντας ισοδύναμα τη θέση αυτών των απωλειών στη γλωττίδα και τα χείλη.
- Υποθέτουμε (για χάρη απλοποίησης) ότι το μοντέλο της φωνητικής οδού είναι γραμμικό και ότι δεν είναι συζευγμένο με τη γλωττίδα.

Μοντέλο Μετάδοσης της Φωνητικής Οδού (3/7)

Επεξεργασία του μοντέλου κύματος

Μετάδοση ηχητικού κύματος κατά μήκος του άξονα σε έναν, χωρίς απώλειες, μονοδιάστατο ηχητικό αγωγό με χαρακτηριστικά μιας ανομοιόμορφης ανοιχτής διατομής:

$$\text{Εξίσωση της ορμής: } -dU/dt = A(x)/\rho * dP/dx$$

$$\text{Εξίσωση διατήρησης της μάζας: } -dP/dt = \rho c^2 / A(x) * dU/dx$$

x = απόσταση από τη γλωττίδα κατά μήκος του άξονα

U = ταχύτητα όγκου

P = ηχητική πίεση

$A(x)$ = συνάρτηση διατομής φωνητικής οδού

ρ = πυκνότητα αέρα

c = ταχύτητα ήχου



Μοντέλο Μετάδοσης της Φωνητικής Οδού (4/7)

- Χωρίζουμε τη φωνητική οδό σε μικρά τμήματα Δx
- Προσεγγίζουμε κάθε τμήμα με ένα μικρό ακουστικό αγωγό

$f_n(t)$: κύμα προς τα εμπρός

$b_n(t)$: κύμα προς τα πίσω (b)

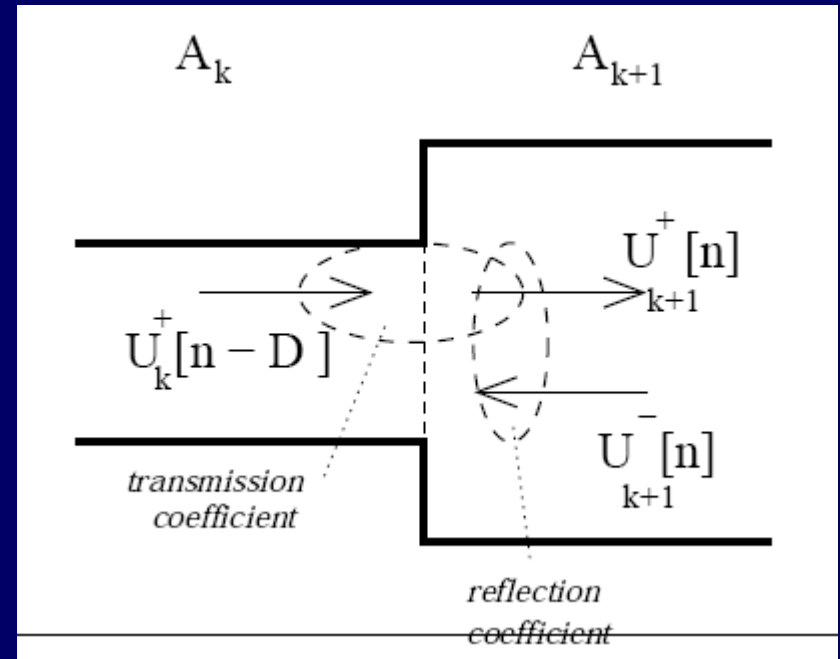
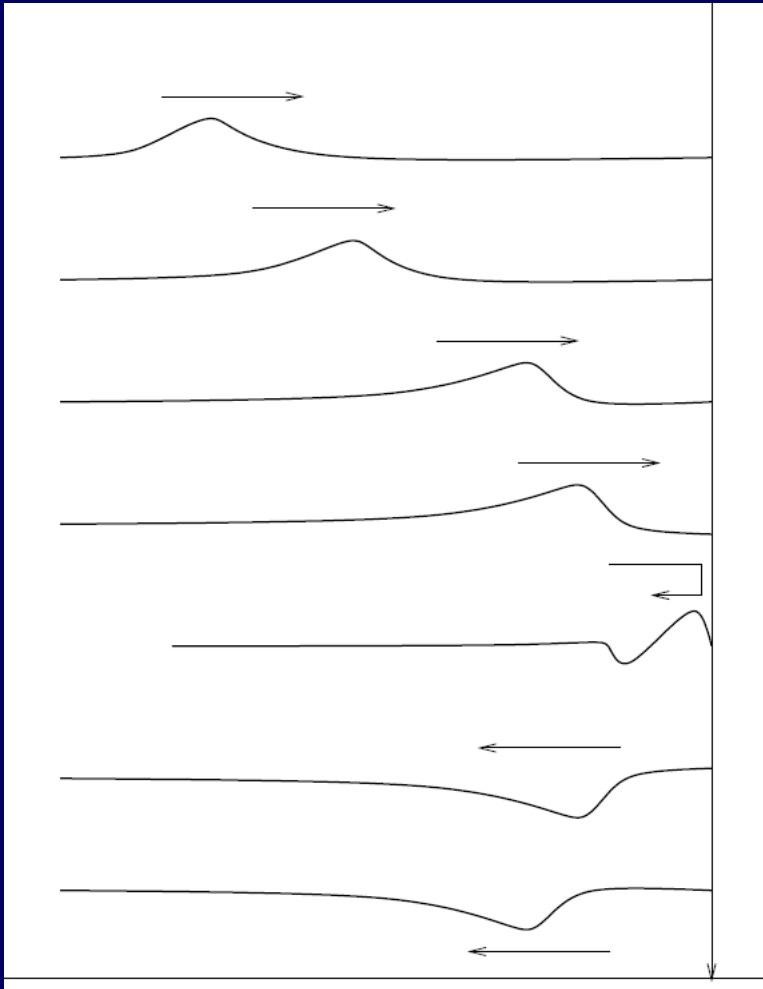
A_n : μέγεθος διατομής τμήματος n ($n \geq 1$)

Δt ($\Delta t = \Delta x / 2c$): χρόνος διάδοσης για το μισό ενός τμήματος

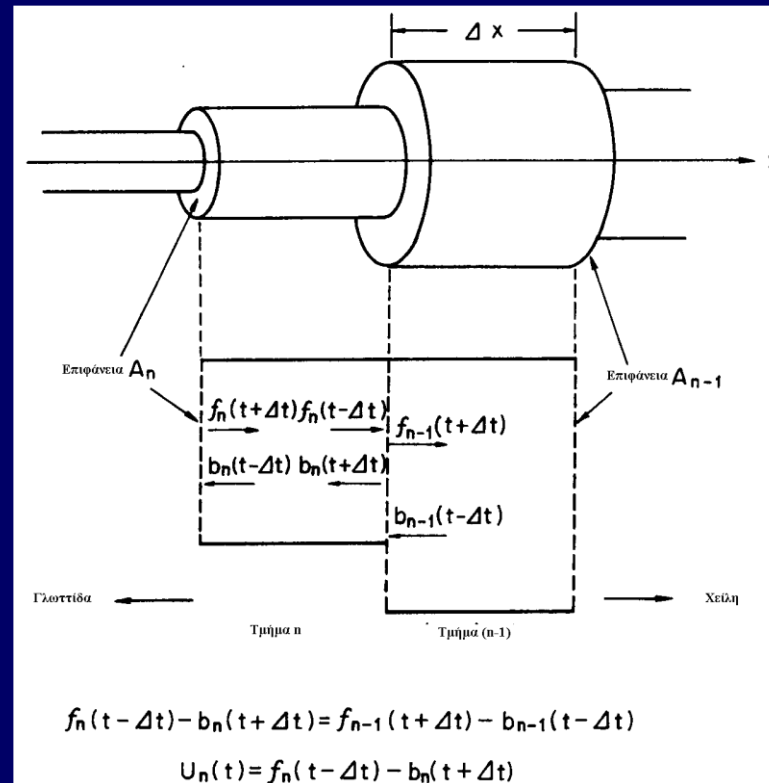
τότε ταχύτητα όγκου: $U_n(t) = f_n(t - \Delta t) - b_n(t + \Delta t)$

Και ηχητική πίεση: $P_n(t) = \rho c / A(n) * \{f_n(t - \Delta t) - b_n(t + \Delta t)\}$

Συντελεστής ανάκλασης: $\kappa_n = (A_{n-1} - A_n) / (A_{n-1} + A_n)$



Μοντέλο Μετάδοσης της Φωνητικής Οδού (5/7)



Ορισμός των εμπρόσθιων και οπισθοδρομικών κυμάτων όσον αφορά την ταχύτητα όγκου στην ανοιχτή διατομή n και συνθήκη συνέχειας για την ταχύτητα όγκου στο όριο μεταξύ των διατομών $n-1$ και n .

Μοντέλο Μετάδοσης της Φωνητικής Οδού (6/7)

Για την ταχύτητα όγκου (θεμελιώδης ποσότητα) λαμβάνουμε δύο θεμελιώδεις εξισώσεις:

$$f_n(t + \Delta t) = \kappa_n b_{n-1}(t - \Delta t) + (1 + \kappa_n) f_n(t - \Delta t)$$

και

$$b_n(t + \Delta t) = (1 - \kappa_n) b_{n-1}(t - \Delta t) - \kappa_n f_n(t - \Delta t)$$

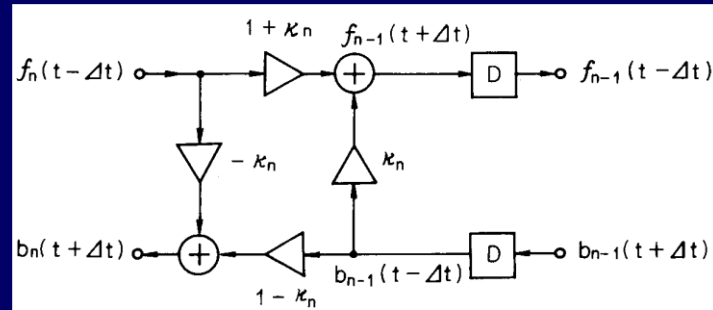
Για την ηχητική πίεση (θεμελιώδης ποσότητα) λαμβάνουμε δύο θεμελιώδεις εξισώσεις:

$$f_{n-1}(t + \Delta t) = \kappa_n b_{n-1}(t - \Delta t) + (1 - \kappa_n) f_n(t - \Delta t)$$

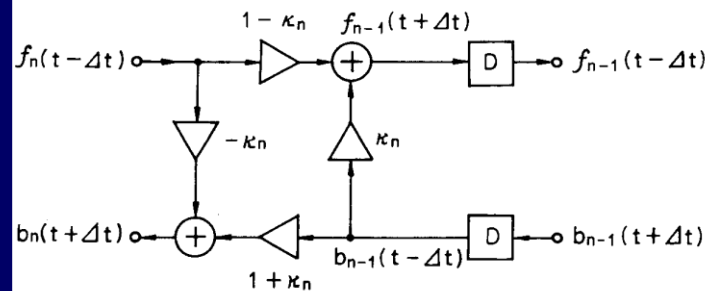
και

$$b_n(t + \Delta t) = (1 + \kappa_n) b_{n-1}(t - \Delta t) - \kappa_n f_n(t - \Delta t)$$

Μοντέλο Μετάδοσης της Φωνητικής Οδού (7/7)



(a)



(b)

Μοντέλο μετάδοσης των ακουστικών κυμάτων στην φωνητική οδό (μοντέλο παραγωγής Kelly)

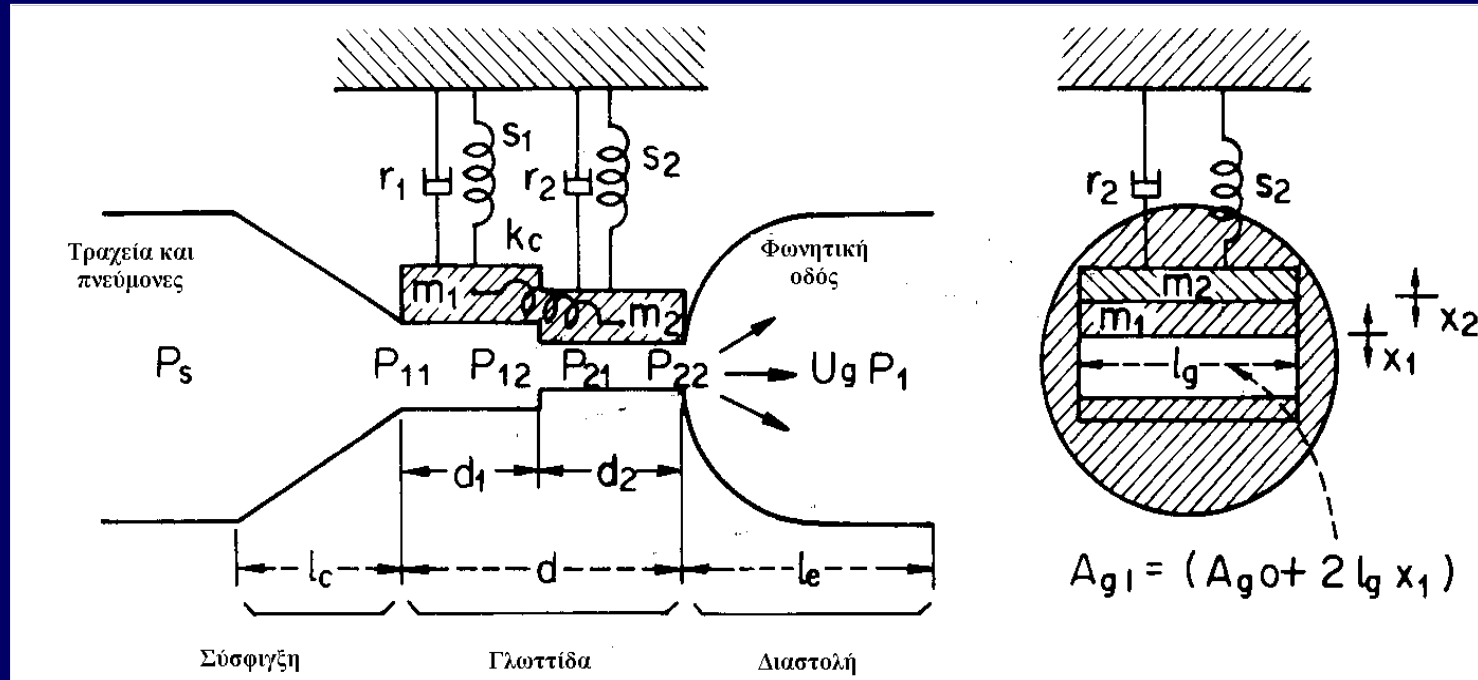
- a) μετάδοση όσον αφορά την ταχύτητα όγκου,
 - b) μετάδοση όσον αφορά την ηχητική πίεση
- (D η καθυστέρηση σε χρόνο $2\Delta t$)

Μοντέλο Φωνητικών Χορδών (1/2)

Κύρια Φυσικά χαρακτηριστικά:

1. Η θεμελιώδης συχνότητα
2. Η μεταβολή της ταχύτητας όγκου στη θεμελιώδη περίοδο είναι σχεδόν απόλυτα ανάλογη με τη χρονική μεταβολή της λειτουργίας ανοιχτής περιοχής στη γλωττίδα και μπορεί να προσεγγιστεί με συμμετρικά τριγωνικά κύματα.
3. Για δυνατή φωνή, η παύση κλειστής γλωττίδας αυξάνει και το τριγωνικό κύμα γίνεται περισσότερο οξύ.
4. Το φασματικό περίγραμμα της συχνότητας του γλωττιδικού κύματος εμφανίζει μια απόκλιση 12-18 dB/oct.
5. Η αλληλεπίδραση με τη φωνητική οδό δε μπορεί να αγνοηθεί στην περιοχή συχνότητας κάτω των 500Hz και επηρεάζει τη μορφή του κύματος στην έναρξη της δόνησης των φωνητικών χορδών.
6. Εφευρέθηκε ένα μοντέλο δύο τμημάτων ως μοντέλο δόνησης φωνητικών χορδών τα οποίο εκφράζει επιτυχώς την πραγματική δόνηση των ανθρώπινων φωνητικών χορδών. Σε αυτό το μοντέλο, η φωνητική χορδή χωρίζεται σε 2 μέρη τα οποία συνδέονται μεταξύ τους όσον αφορά την ακαμψία k_c , όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.

Μοντέλο Φωνητικών Χορδών (2/2)

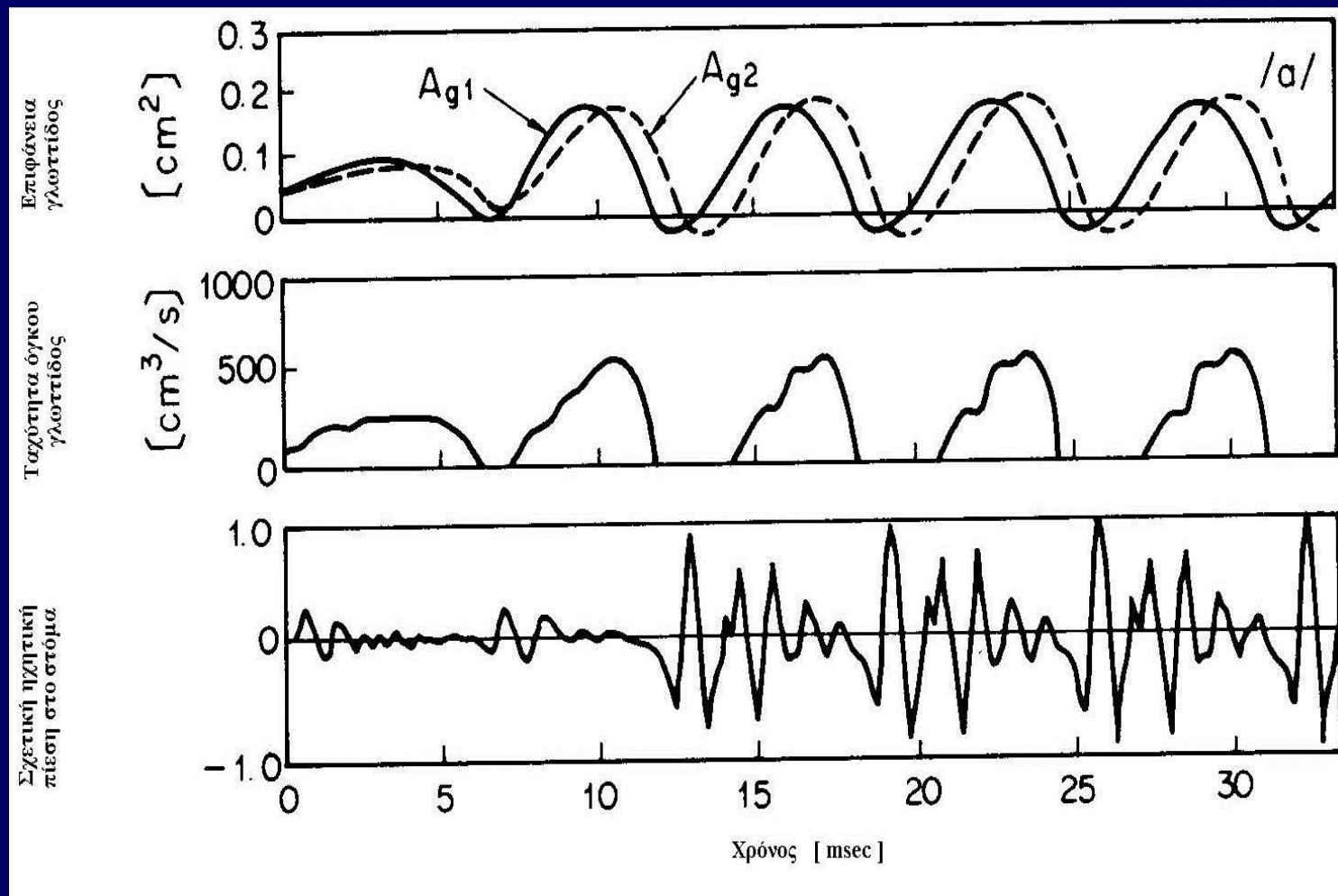


Διαμόρφωση του μοντέλου δύο όγκων, ανοιχτή διατομή της γλωττίδας.

A_{g1} = επιφάνεια στη διατομή d_1

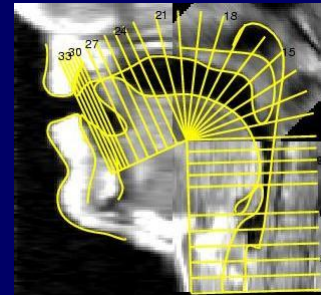
A_{g0} = επιφάνεια στην ουδέτερη κατάσταση στη διατομή d_1

Εξομίωση της παραγωγής ομιλίας για το φωνήεν /a/ με τη χρήση του μοντέλου δύο όγκων



Μοντέλα φωνητικής οδού

- **Στατιστικά** : Parameters derived on basis of statistical analysis e.g. of MR/CT/X-Ray-image-corpora (Maeda 1990, Badin et al. 2003)



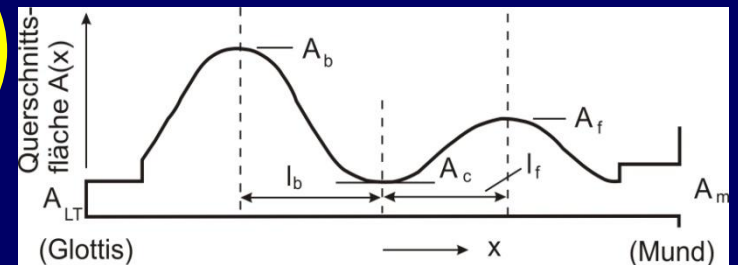
Badin et al. (2003):3D gridline system

2D

preferred

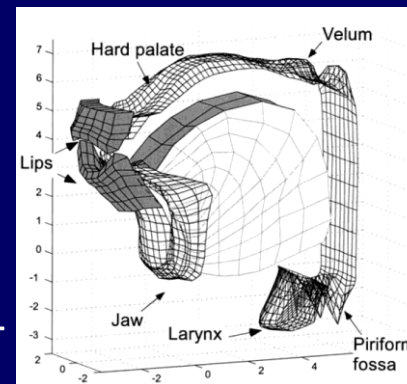
- **Γεωμετρικά**: vocal tract shape is described by *a-priori* defined parameters
area-function related: Stev&House 1955
articulator related: Mermelstein 1973, Birkholz 2007

*Stevens & House (1955)
Flanagan et al. (1980)*



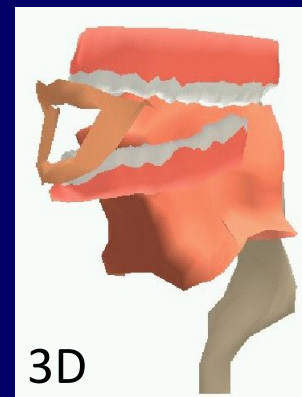
1D

- **Biomechanical**: Modeling of articulators using finite element methods (Dang 2004, Engwall 2003, Wilhelms-Tricarico 1997)



2D+

Dang et al. (2004)



3D

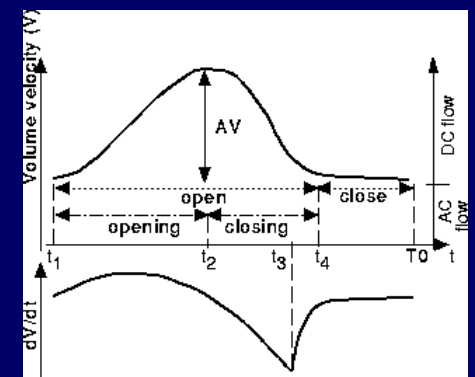
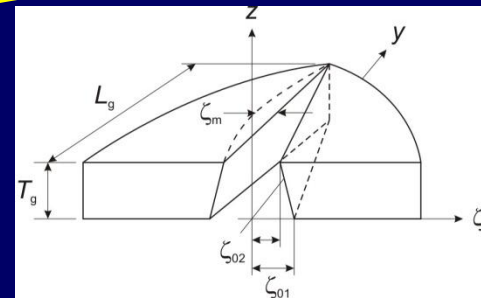
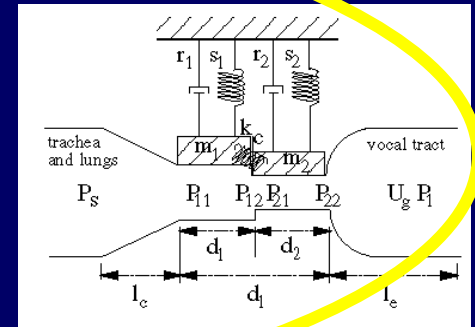
Engwall (2003)

- **Μοντέλα 1D, 2D, 2D+, 3D**

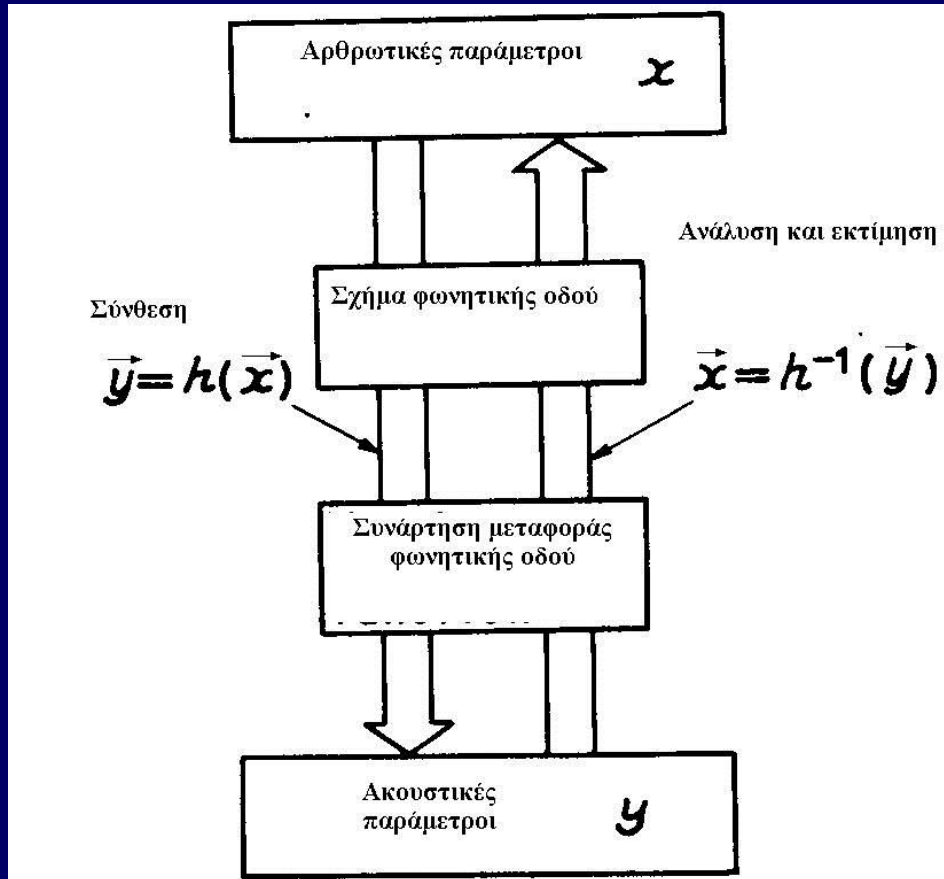
Μοντέλα Γλωττίδας

preferred

- **Self-oscillating models** (e.g. Ishizaka & Flanagan 1972 two mass model and derivatives)
 - physiological control parameters: vocal fold tension, glottal aperture ...
 - calculation of glottal area waveform (low, up) and glottal flow
- **Parametric glottal area models** (e.g. Titze 1984 and derivatives)
 - glottal waveform (opening-closing movement) is given
 - Calculation of glottal flow
- **Parametric glottal flow models** (e.g. LF-model 1985)
 - Acoustical relevant control parameters: F_0 , open quotient, maximum negative peak flow (time derivative of glottal flow), return phase
 - direct control of acoustic voice quality



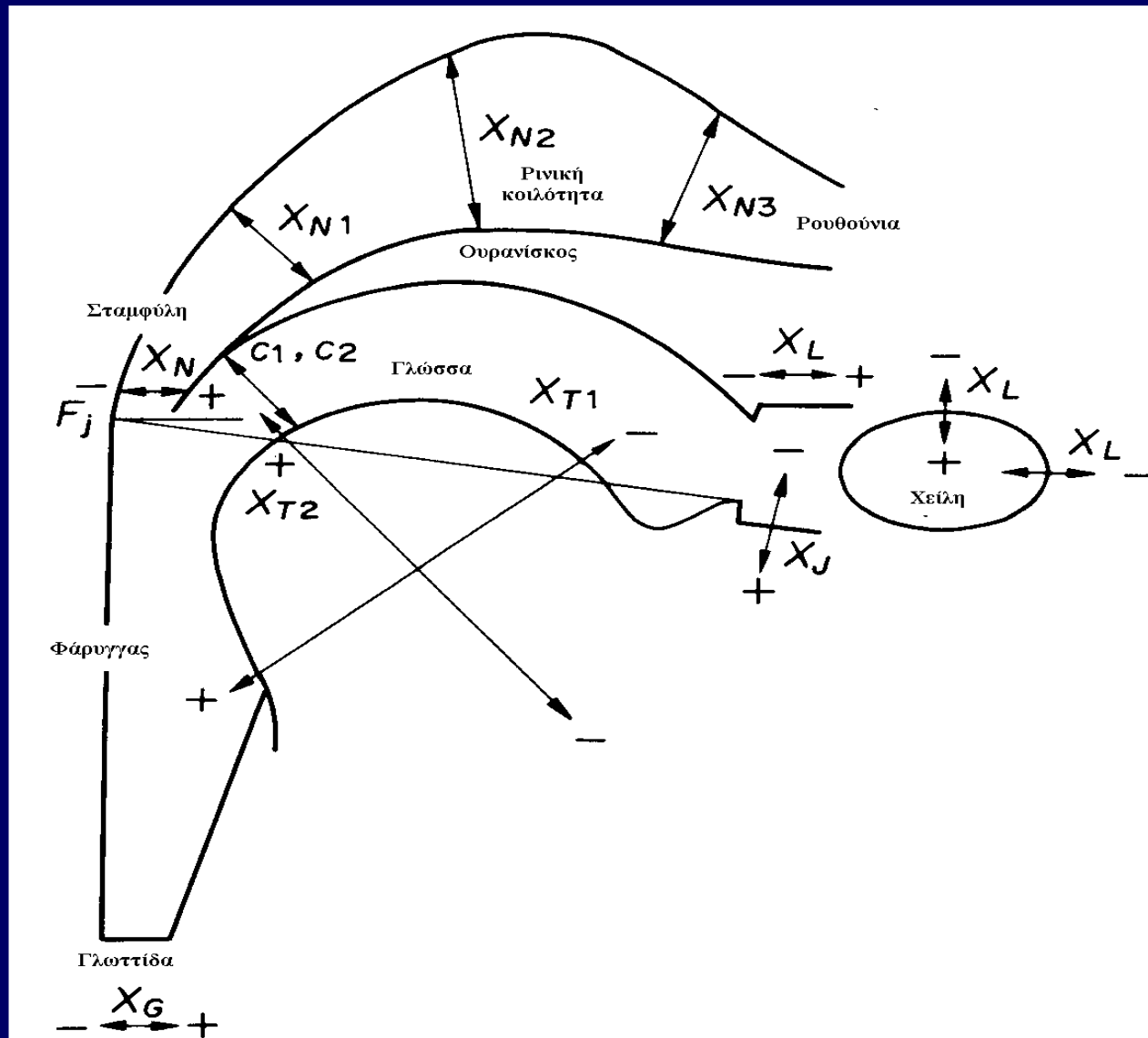
Μοντέλο Άρθρωσης



Σχέση ανάμεσα στις παραμέτρους άρθρωσης με τα ακουστικά γνωρίσματα στο μοντέλο άρθρωσης.

- ✓ Άμεση αναπαράσταση των δυναμικών χαρακτηριστικών των οργάνων άρθρωσης
- ✓ Οι τιμές x υπολογίζονται από το y με τη μέθοδο της μη γραμμικής μεγιστοποίησης

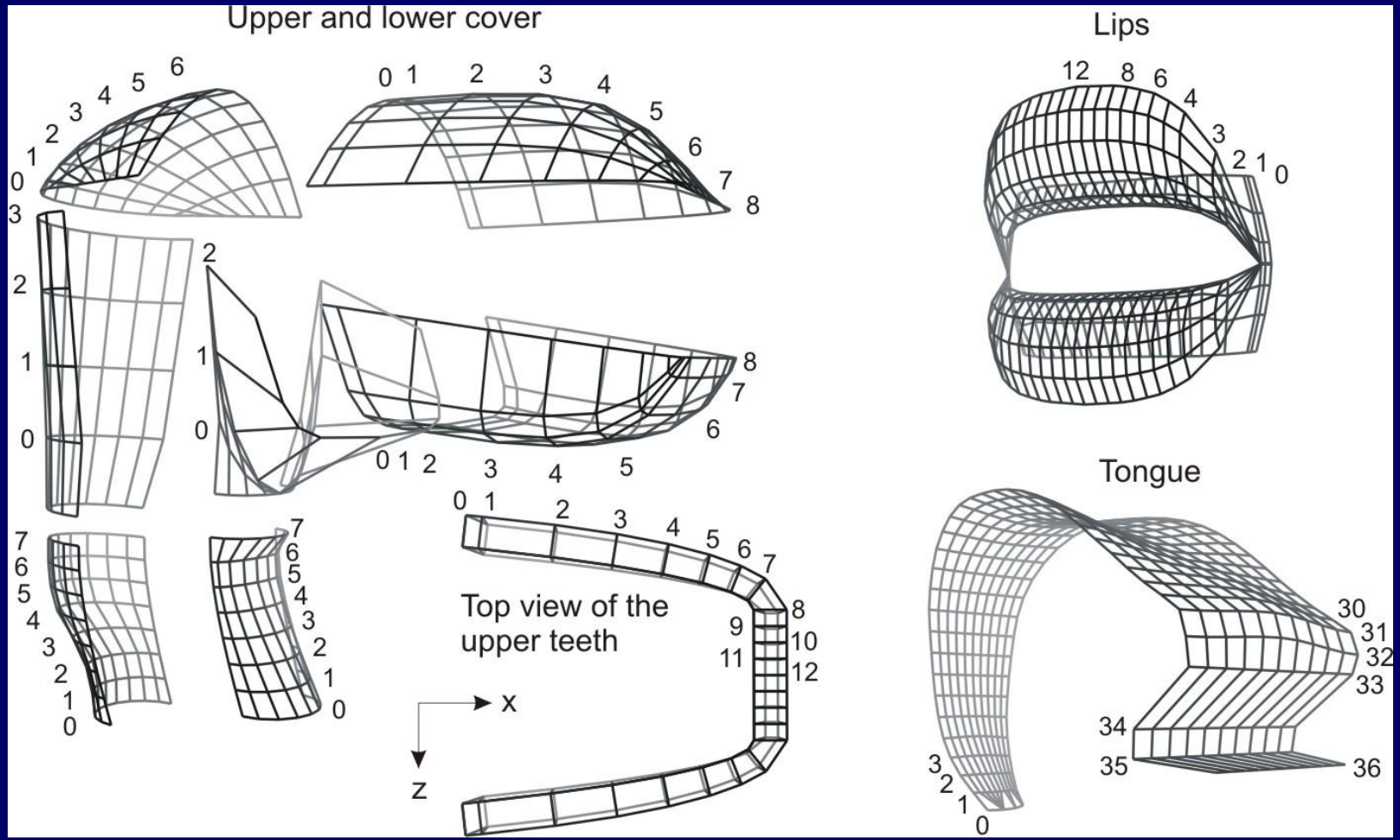
Διαμόρφωση του μοντέλου άρθρωσης (1/2)



Διαμόρφωση του μοντέλου άρθρωσης (2/2)

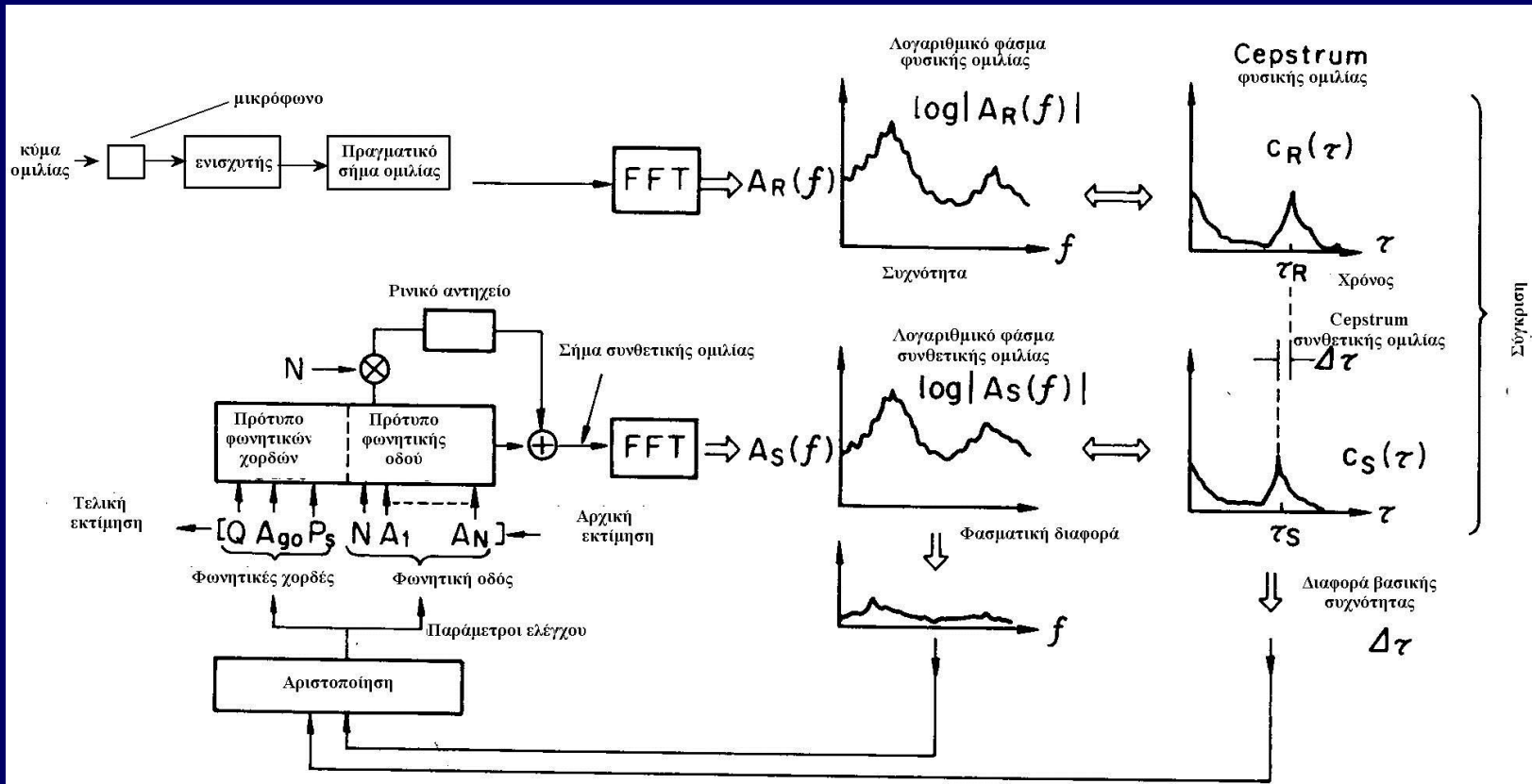
- Όταν δίδεται ένα σύνολο παραμέτρων $x=(X_{T1}, X_{T2}, X_J, X_L, X_G, X_N)$, μπορεί να οριστεί η περιοχή της φωνητικής οδού και να επιτευχθούν τα χαρακτηριστικά μετάδοσης της φωνητικής οδού σύμφωνα με τη συνάρτηση επιφάνειας.
- Το σύνολο των ακουστικών γνωρισμάτων γ για το κύμα ομιλίας παρουσιάζεται ως μία λειτουργία του x , έτσι ώστε $\gamma=h(x)$.
- Η συνθήκη άρθρωσης μπορεί να υπολογιστεί από ένα δεδομένο κύμα ομιλίας ρυθμίζοντας το x ώστε να παράγει γ παρόμοιο με το πραγματικό σύνολο παραμέτρων ακουστικής του κύματος ομιλίας, με βάση μια συνάρτηση αξιολόγησης.

Μοντέλο Φωνητικής οδού (Birkholz 2005)

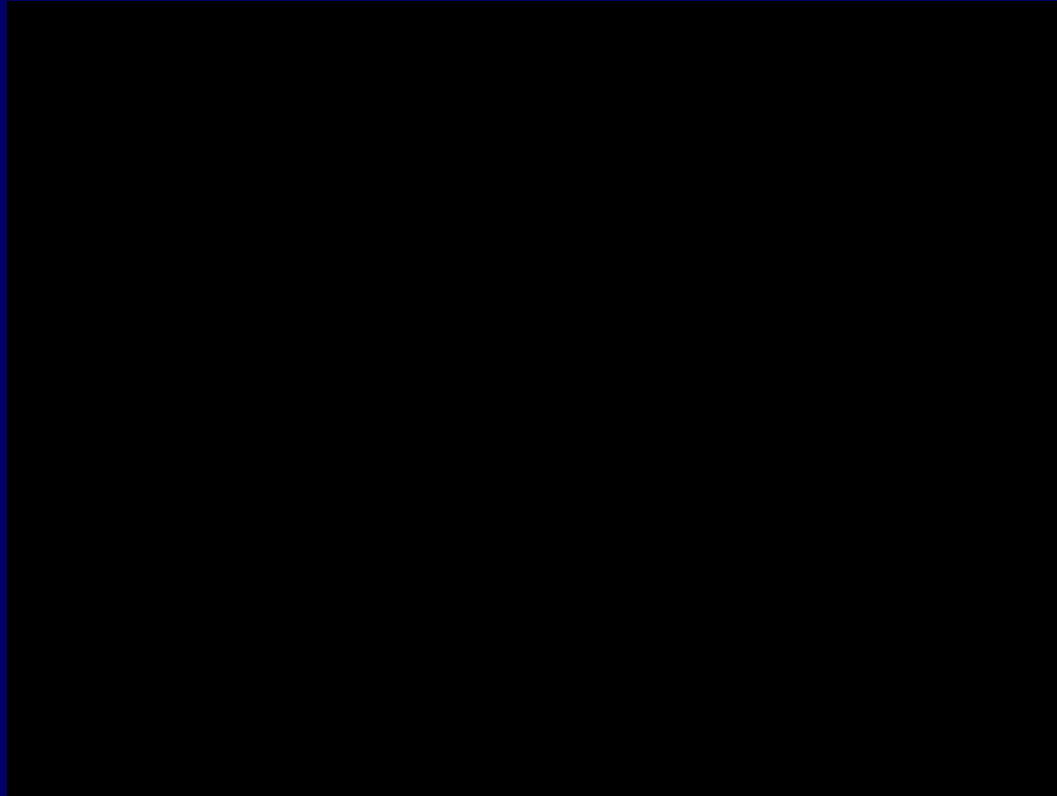


Διαδικασία εκτίμησης για τις παραμέτρους ελέγχου του μοντέλου παραγωγής ομιλίας με τη χρήση της μεθόδου A-b-S (Analysis-by-Synthesis)

Q : ένταση των φωνητικών χορδών, A_{g0} : γλωττιδική επιφάνεια στην ουδέτερη κατάσταση, P_s : υπογλωττιδική πίεση, N: ρινικό ζεύγος, $\{A_i\}$: συνάρτηση επιφάνειας της φωνητικής οδού.



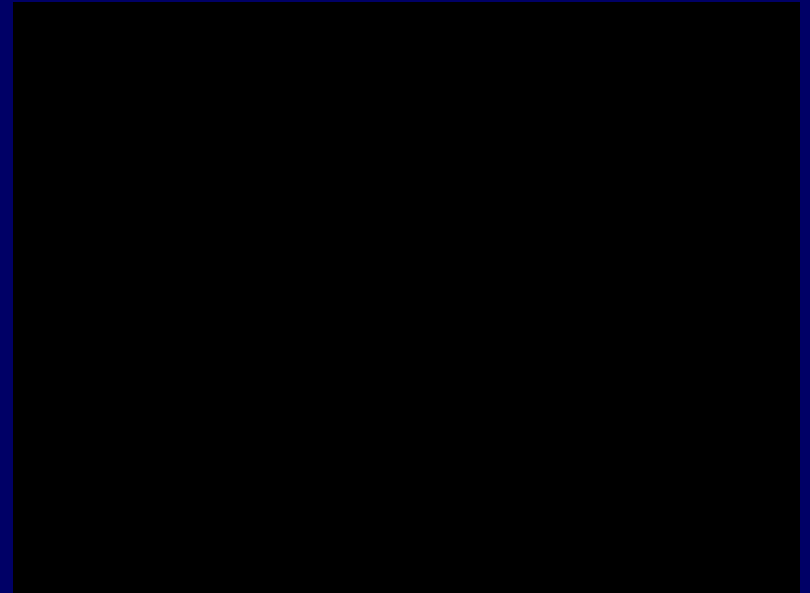
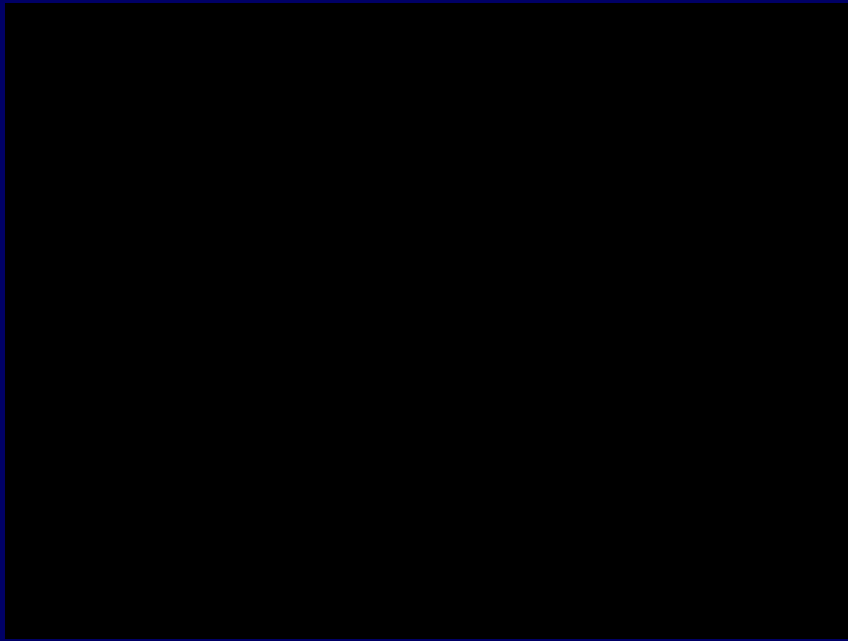
Live video of movements during speech production (MRI at 20 ms)



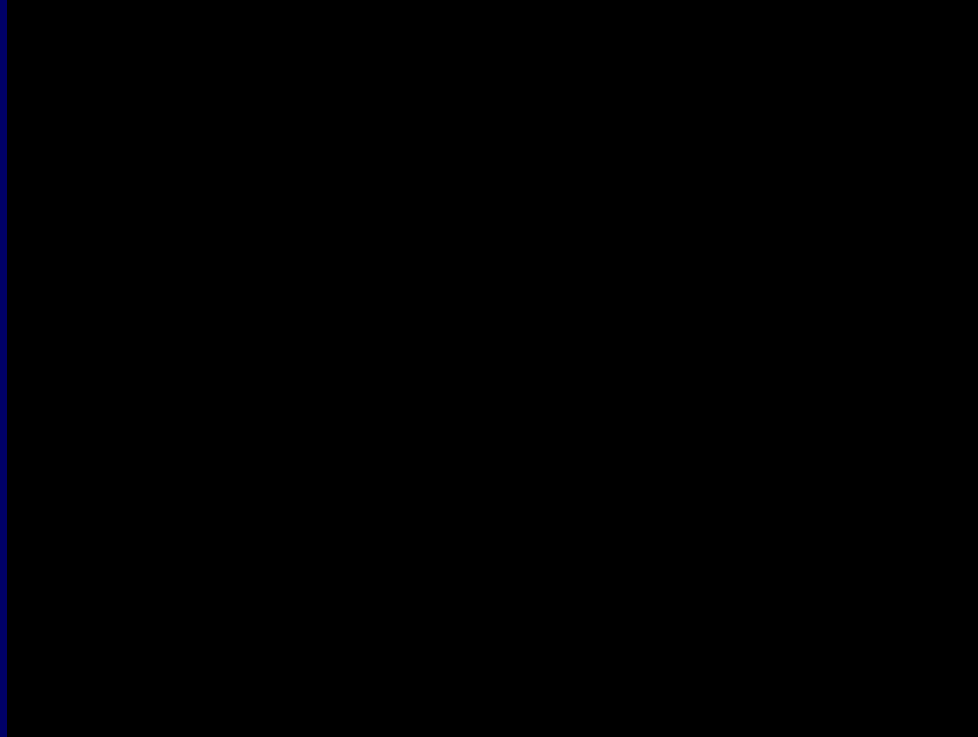
Max Planck Institute for Biophysical Chemistry, Göttingen, 2010



von Kempelin Speaking Machine (1791)



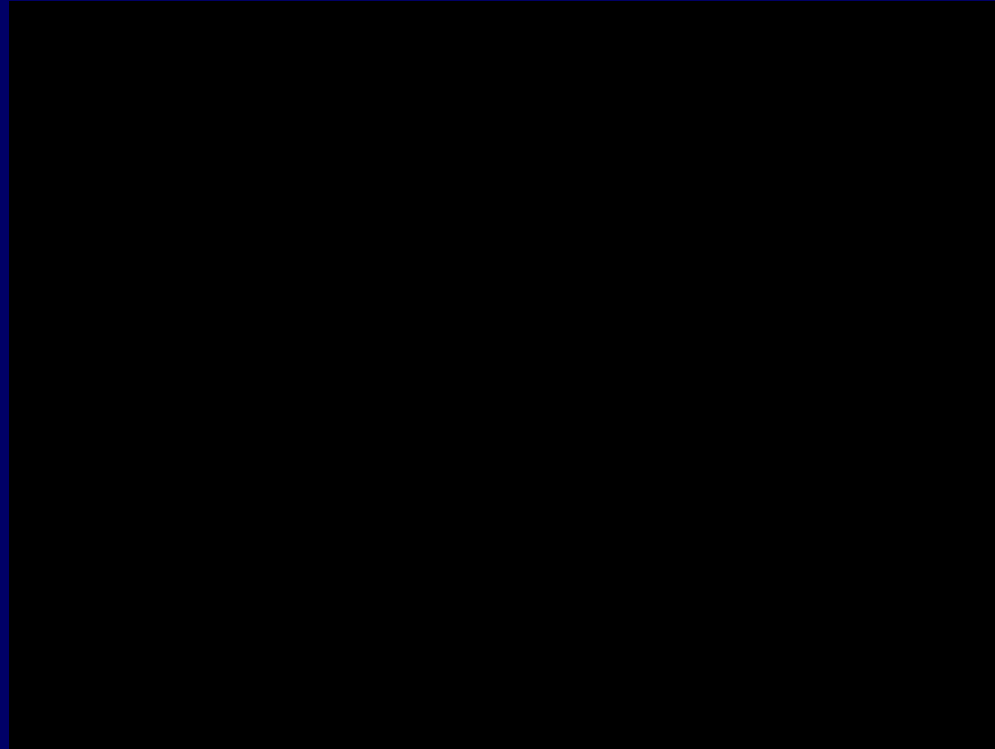
Dynamic Articulation Model of Speech (1977)



D Y N A M O (= Dynamic Artikulation Model) is a computer generated representation of articulatory movements. It was first developed in 1977 in Institute of Phonetics University of Cologne (Prof.Dr. Georg Heike), especially as an aid for the deaf. The video shows the first records made from the screen of an oscillograph. The synthesized speech was generated out of the data of the geometric area functions of the model by a mathematical procedure, supplemented by a simple model of German prosody.



Synthesized vowels with a wave-guide model



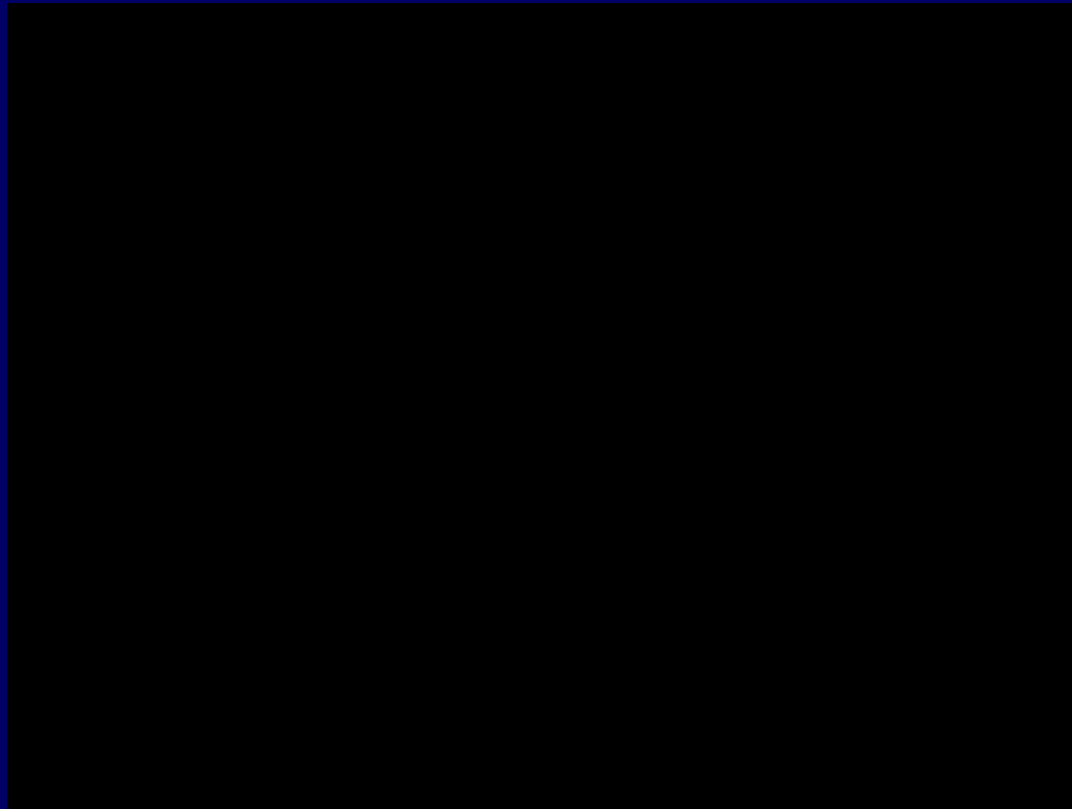
A digital wave-guide model of the vocal-tract is used to synthesize the vowels /a, E, I, o, U/.

Liljencrants-Fant glottal model is used here for the source (1985).

The glottal pulse rate is 115 Hz.



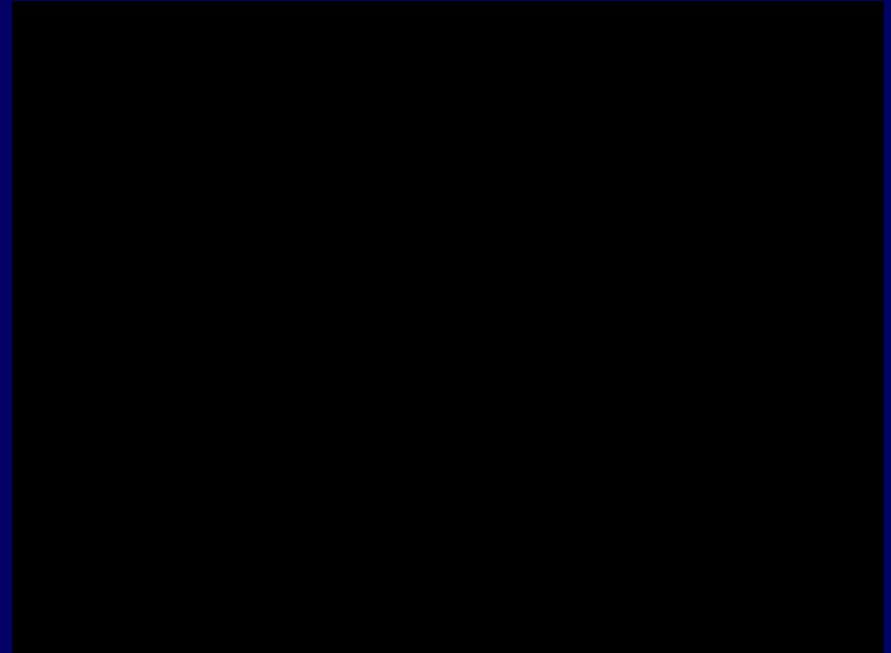
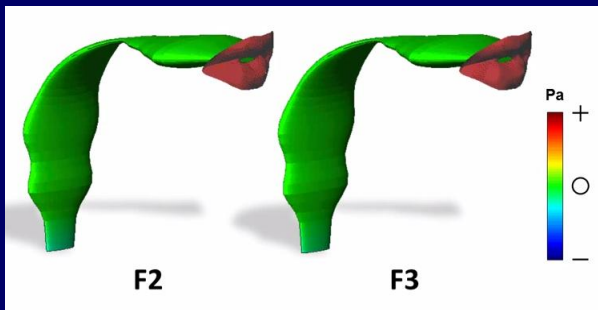
Talking Robot Mouth (2011)



Kagawa University, Japan

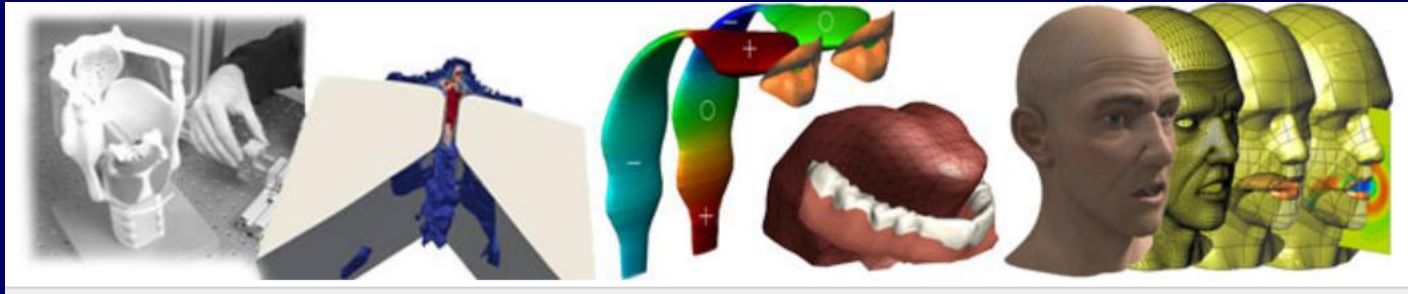


Formant pressure distribution vowel u (2014)



Acoustic pressure distribution for the second (F2) and third (F3) formants of vowel /u/ to illustrate the formant-cavity affiliation concept. It can be observed that for F2 the cavity close to the mouth corresponds to a high acoustic pressure area, whereas for F3 the highest values are achieved at the cavity close to the glottis. Front-cavity resonances are strongly influenced by acoustic radiation, but the latter's effect on back-cavity resonances is much weaker. This explains why radiation effects are noticeable for the second formant of vowel /u/, whereas no changes can be appreciated for the third formant.

EUNISON: Extensive UNified-domain SimulatiON of the human voice



- <http://www.fp7eunison.com/>
- <https://www.youtube.com/user/eunisonFet>

Αντικειμενικά & Υποκειμενικά Μεγέθη Ήχων (1/2)

- **Ένταση ήχου:** ενέργεια ανά μονάδα χρόνου (ισχύς) που διαπερνά κάθετα επιφάνεια μοναδιαίου εμβαδού. Μονάδες Watts/m^2
- **Σχέση έντασης – πίεσης** $I = (1/2)[P_0^2 / (c)]$
 - I – ένταση ήχου
 - P_0 - πλάτος πίεσης
 - ρ – πυκνότητα μέσου διάδοσης
 - u – ταχύτητα ήχου
 - ρu – ακουστική αντίσταση
- **Κατώφλι ακουστότητας** – 3500 Hz - ένταση 1pW/m^2
- **Στάθμη ήχου** – αποκλίσεις πίεσης ή έντασης 1 Bel αντιστοιχεί σε λόγο εντάσεων 10:1

$$dB = 10 \log_{10}(I/I_0)$$



Αντικειμενικά & Υποκειμενικά Μεγέθη Ήχων (2/2)

- **SPL**: απόσβεση σε Neper $= \ln(I/I_0) - 1$ Neper = 8,686 dB
- **dBm** ισχύς ως προς 1mW
- **Δυναμικό ηχητικής πηγής** – $10 \log(I_{max}/I_{min}) = 20 \log(P_{max}/P_{min})$
- **Ακουστότητα / Loudness** – (αντικειμενική αίσθηση ισχυρών – ασθενών ήχων).
- Η στάθμη ακουστότητας οποιουδήποτε άλλου ήχου καθορίζεται σαν η στάθμη της ακουστικής πίεσης τόνου 1000 Hz όταν αυτός ηχεί εξίσου με τον ήχο που εξετάζουμε.

Μονάδα – Phon

Υποκειμενική κλίμακα ακουστότητας Sone

(1000Hz 40 dB έχει ακουστότητα 1 Sone)

$$S = 2 (L - 40) / 10$$



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστήμιον Αθηνών, Γεώργιος Κουρουπέτρογλου 2015. «Επεξεργασία ομιλίας και φυσικής γλώσσας. Μοντελοποίηση της παραγωγής της φυσικής ομιλίας». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/DI36/>.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως Μη Εμπορική ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

- "Η δομή και οργάνωση της παρουσίασης, καθώς και το υπόλοιπο περιεχόμενο, αποτελούν πνευματική ιδιοκτησία της συγγραφέως και του Πανεπιστημίου Αθηνών και διατίθενται με άδεια Creative Commons Αναφορά Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή Έκδοση 4.0 ή μεταγενέστερη.
- Οι φωτογραφίες που περιέχονται στην παρουσίαση αποτελούν πνευματική ιδιοκτησία τρίτων. Απαγορεύεται η αναπαραγωγή, αναδημοσίευση και διάθεσή τους στο κοινό με οποιονδήποτε τρόπο χωρίς τη λήψη άδειας από τους δικαιούχους. "