

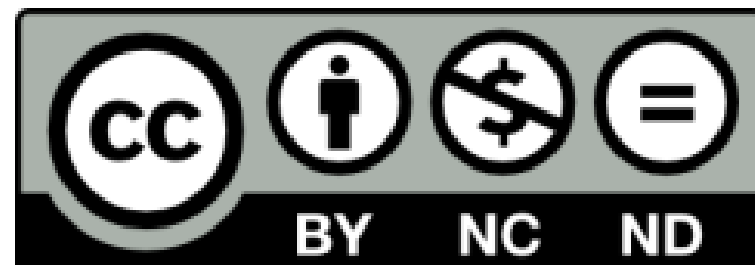


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

# Προηγμένες Τεχνολογίες Αλληλεπίδρασης και Εφαρμογές (Φυσικές Διεπαφές Χρήστη-Natural User Interfaces, NUIs)

## Ενότητα 6: Θεωρία - Διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή (brain-computer interfaces)

*Παναγιώτης Κουτσαμπάσης  
Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης  
Προϊόντων και Συστημάτων*



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

---

# ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΓΙΕΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή (Brain-Computer Interfaces)

---

Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης  
Προϊόντων και Συστημάτων,  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Παναγιώτης Κουτσαμπάσης

---

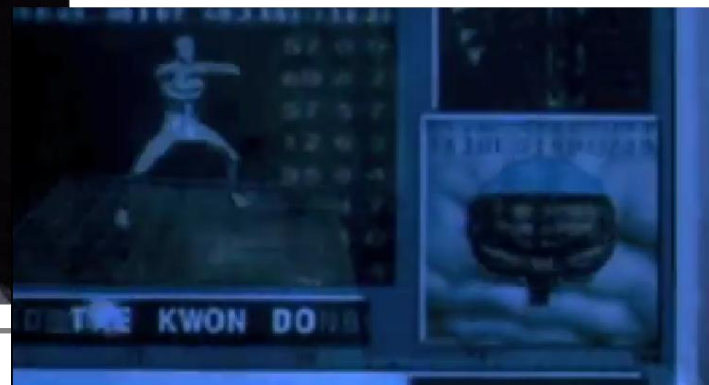
# Διεπαφές Εγχειφάλου-Υπολογιστή

- Ιστορική επισκόπηση.
  - Ανθρώπινοι παράγοντες: εγκέφαλος, εγκεφαλικά κύματα, και η μέτρηση τους.
  - Τεχνολογία της διεπαφής: υλικό + λογισμικό, περιορισμοί.
  - Εφαρμογές και προοπτική.
-



# Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή

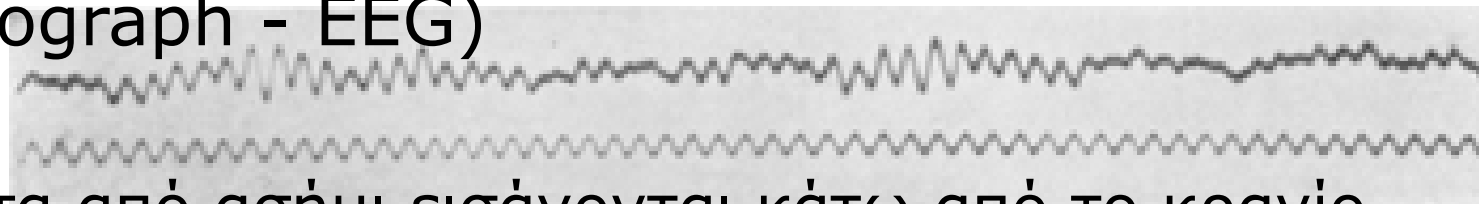
- Ο έλεγχος του φυσικού κόσμου με τις σκέψεις μας αποτελούσε πάντα όνειρο της ανθρωπότητας και θέμα (πολύ καλών) ταινιών επιστημονικής φαντασίας...



# Διεπαφές Εγχειράλου-Υπολογιστή



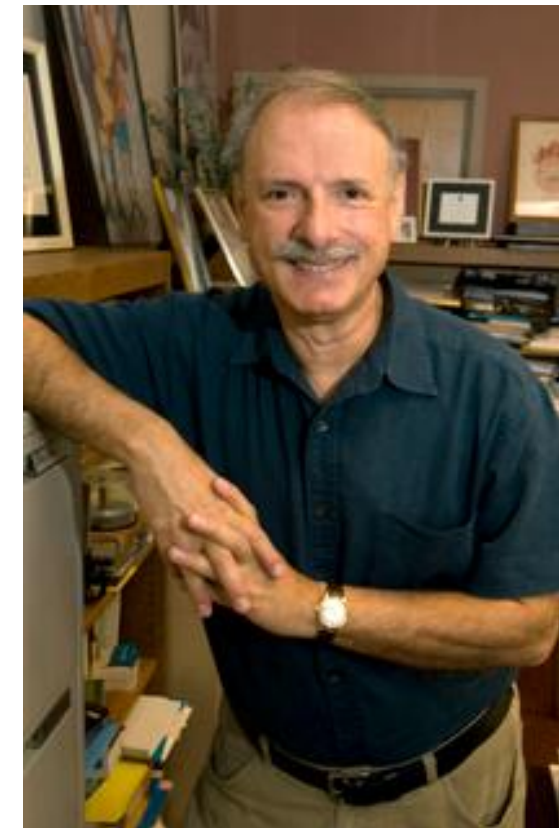
- 1924. Hans Berger (Γερμανία, νευρολόγος).
  - «Στον εγκέφαλο υπάρχει ηλεκτρική δραστηριότητα»
  - Ανακάλυψε το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (electroencephalograph - EEG)
  - Μέθοδος:
    - (1) Δύο σύρματα από ασήμι εισάγονται κάτω από το κρανίο, ένα στο μπροστινό μέρος και ένα πίσω. Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρόδια.
    - (2) Τα δύο σύρματα συνδέονται με ηλεκτρόμετρο χωρίς αποτέλεσμα... Έπειτα με γαλβανόμετρο (1/100 Volt) όπου ανίχνευεται στις 2 άκρες άφιξη εγκεφαλικών κυμάτων alpha.
      - αλλιώς και κύματα Berger, έντασης λίγων miliVolt και συχνότητας 8-12 Hz.
  - Άργησε 5 χρόνια να δημοσιεύσει την εργασία του επειδή δεν πίστευε τα αποτελέσματα...
  - Η επιστημονική κοινότητα αναγνώρισε την αξία της ανακάλυψης μετά το 1938!





# Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή

- 1969. Fetz and colleagues (University of Washington School of Medicine).
  - Έλεγχος τεχνητού βραχίονα με τη σκέψη, από πίθηκους.
- 1980. Απόστολος Γεωργόπουλος (Johns Hopkins University)
  - Μαθηματική σχέση μεταξύ ηλεκτρικών σημάτων από νευρώνες που ελέγχουν την κίνηση και ειδών κίνησης τεχνητού βραχίονα (σε πιθήκους).
- 1990. Miguel Nikolelis (Duke University, N. Carolina)
  - Χρήση συστήματος πολλαπλών ηλεκτροδίων που καλύπτει το κεφάλι για ανίχνευση σημάτων από 50-200 νευρώνες.





# Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή

- Μέχρι και το 2000, η κύρια εφαρμογή της έρευνας είναι η νευροπροσθετική (neuroprosthetics)
  - Έλεγχος πρόσθετων μερών του σώματος: χέρια, πόδια, μάτια, κ.α.
  - Επίσης, ο έλεγχος αναπηρικού αμαξιδίου.
- Επίσης, κατασκευάζονται διεπαφές E-Υ για έλεγχο των μυών (μέσω ηλεκτρομυογραφίας - EMG)
  - Στις περιπτώσεις παραλυσίας λόγω εγκεφαλικής βλάβης, ο υπολογιστής να δίνει εντολές στον εγκέφαλο να κινήσει τους μυς.
- Μέχρι σήμερα, η σχετική έρευνα είναι πολύ έντονη, και παραμένει σε πειραματικό / εργαστηριακό περιβάλλον  
[http://www.ted.com/talks/miguel\\_bot\\_with\\_its\\_thoughts\\_no\\_really.1](http://www.ted.com/talks/miguel_bot_with_its_thoughts_no_really.1)
- Είναι ακόμα νωρίς για ευρεία εφαρμογή των αποτελεσμάτων της έρευνας.



---

# Διεπαφές Εγχειράλου-Υπολογιστή

- Ανθρώπινοι παράγοντες: εγκέφαλος, εγκεφαλικά κύματα, και η μέτρηση τους.
-

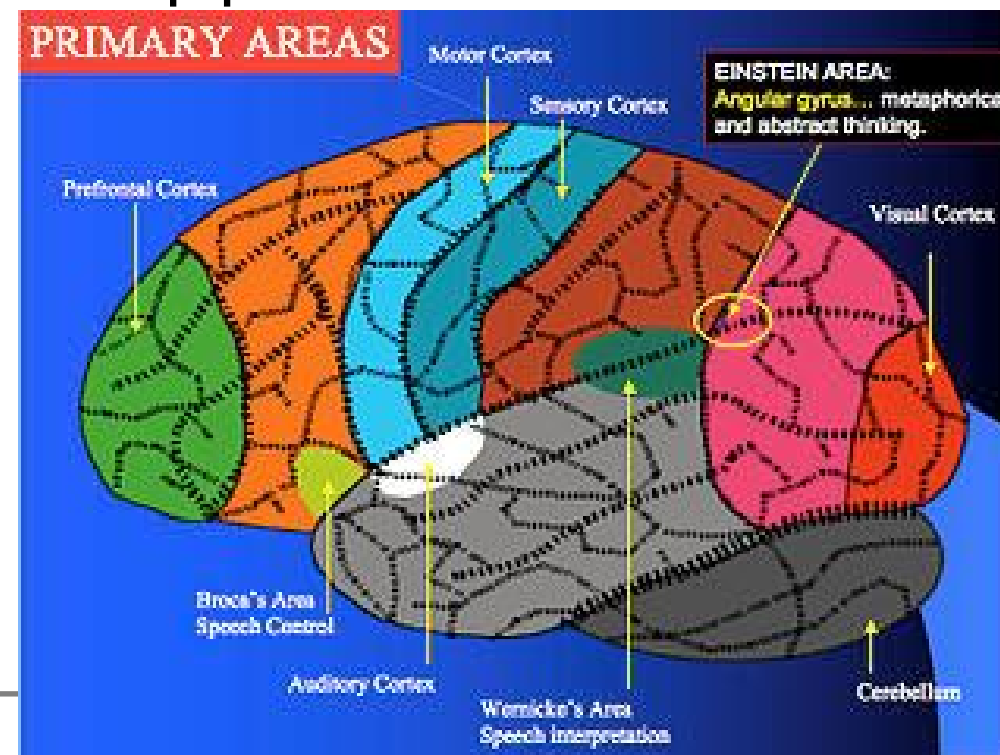
# Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή

- Ο ανθρώπινος εγκέφαλος:
  - Δέχεται ηλεκτρο-χημικά σήματα από τα (αισθητήρια και μη) ανθρώπινα όργανα. Δίνει εντολές και ελέγχει κάθε ανθρώπινο όργανο και κάθε σύνθετη λειτουργία του ανθρωπίνου σώματος
  - Αποτελείται από **νευρώνες, γλοιοκύτταρα, συνάψεις**.
    - Περίπου 86 δις **νευρώνες**
    - Διπλάσιος αριθμό **γλοιοκυττάρων** (επισυνάπτονται στους νευρώνες).
    - Η καλύτερη τεχνολογία EEG σήμερα ανιχνεύει σήματα από μόνο 1000 νευρώνες.
  - Οι νευρώνες επικοινωνούν μέσω δομών που ονομάζονται **συνάψεις** (synapses) (συνδέουν από μερικές 10δες ως μερικές 100δες νευρώνες).
  - Τα γλοιοκύτταρα επίσης επικοινωνούν μεταξύ τους με χημικά σήματα.
    - Δεν έχουν μελετηθεί ακόμα σε σημαντικό βαθμό.
  - Προφανώς είναι ακόμα αρκετά άγνωστο το πώς λειτουργεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος.



# Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή

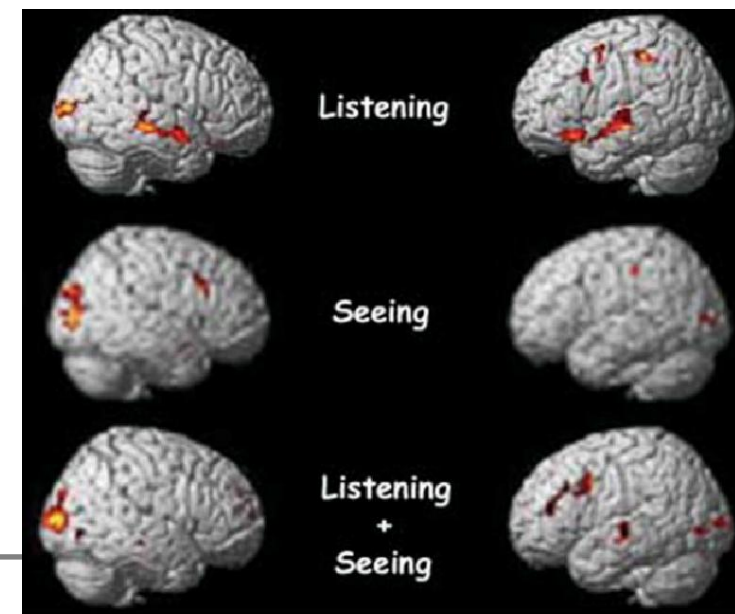
- Ο ανθρώπινος εγκέφαλος:
  - Χαρακτηρίζεται από εξαιρετική ικανότητα προσαρμογής (νευροπλαστικότητα - neuroplasticity)
    - Αλλαγές στα μονοπάτια επικοινωνίας των νευρώνων λόγω μάθησης, αλλαγής συμπεριφοράς, τραυματισμών, κ.α.
  - Μέχρι πρόσφατα θεωρούσαμε ότι συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου είναι υπεύθυνες για τον έλεγχο συγκεκριμένων ανθρώπινων λειτουργιών
    - Νεότερες έρευνες δείχνουν ότι ίσως αυτό να μην ισχύει...





# Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή

- Μέτρηση εγκεφαλικών σημάτων:
- Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG)
  - Μετράει τα ηλεκτρικά σήματα που παράγονται από τα νευρικά κύτταρα του εγκεφάλου
- Μαγνητοεγκεφαλογράφημα (MEG)
  - Παρόμοιο με το EEG μόνο που είναι πιο σύγχρονη και πιο ακριβής τεχνική. Αντί για την καταμέτρηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας μετράται το μαγνητικό πεδίο που παράγεται από τον εγκέφαλο. Βασικό μειονέκτημα είναι οι πολύ υψηλές απαιτήσεις σε υλικό.
- Λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (fMRI)
  - Αναγνωρίζει τη ροή του αίματος στον εγκέφαλο για να καθορίσει περιοχές δραστηριοποίησης. Το σήμα εξαρτάται από το επίπεδο οξυγόνου στο αίμα.



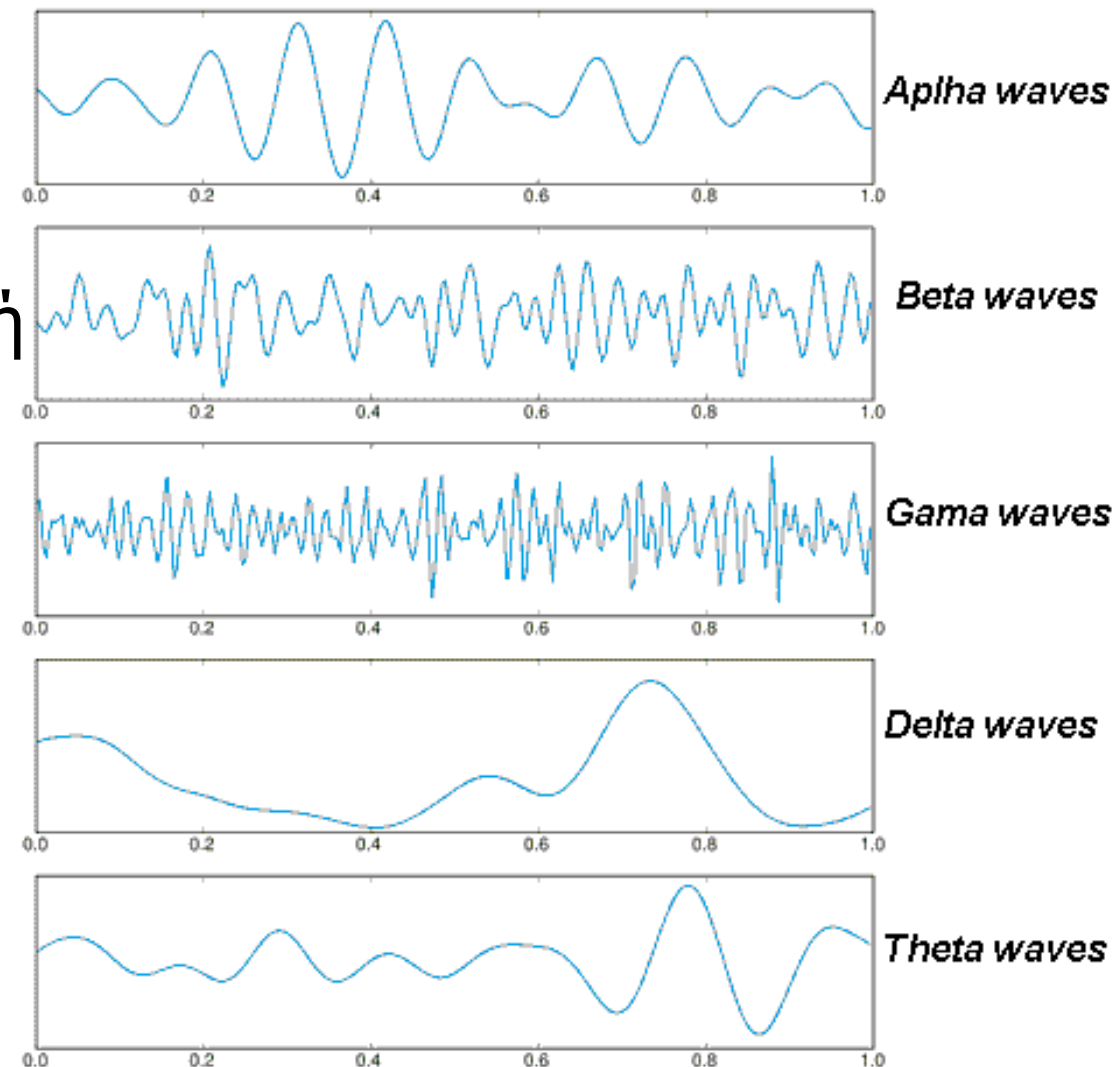
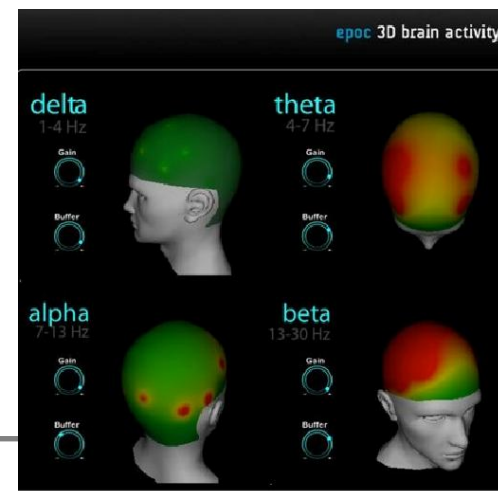
# Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή

- Μέθοδοι μετρήσεων
- Μη παρεμβατικές (non-invasive)
  - EEG και MEG αναπαριστούν τη μέση δραστηριότητα των νευρώνων σε ένα μεγάλο πλήθος
  - Η χρονική ανάλυση είναι πολύ καλή, αλλά η χωρική (δηλ. ο εντοπισμός της ακριβούς θέσης τη εγκεφάλου που έλαβε χώρα η δραστηριότητα) είναι κακή
  - Οι βασισμένες στο fMRI τεχνικές έχουν καλύτερη χωρική ανάλυση, αλλά χειρότερη χρονική
- Παρεμβατικές (invasive)
  - Απαιτείται εμφύτευση ηλεκτροδίων
  - Μπορεί να δώσει πολύ καλύτερη απόδοση



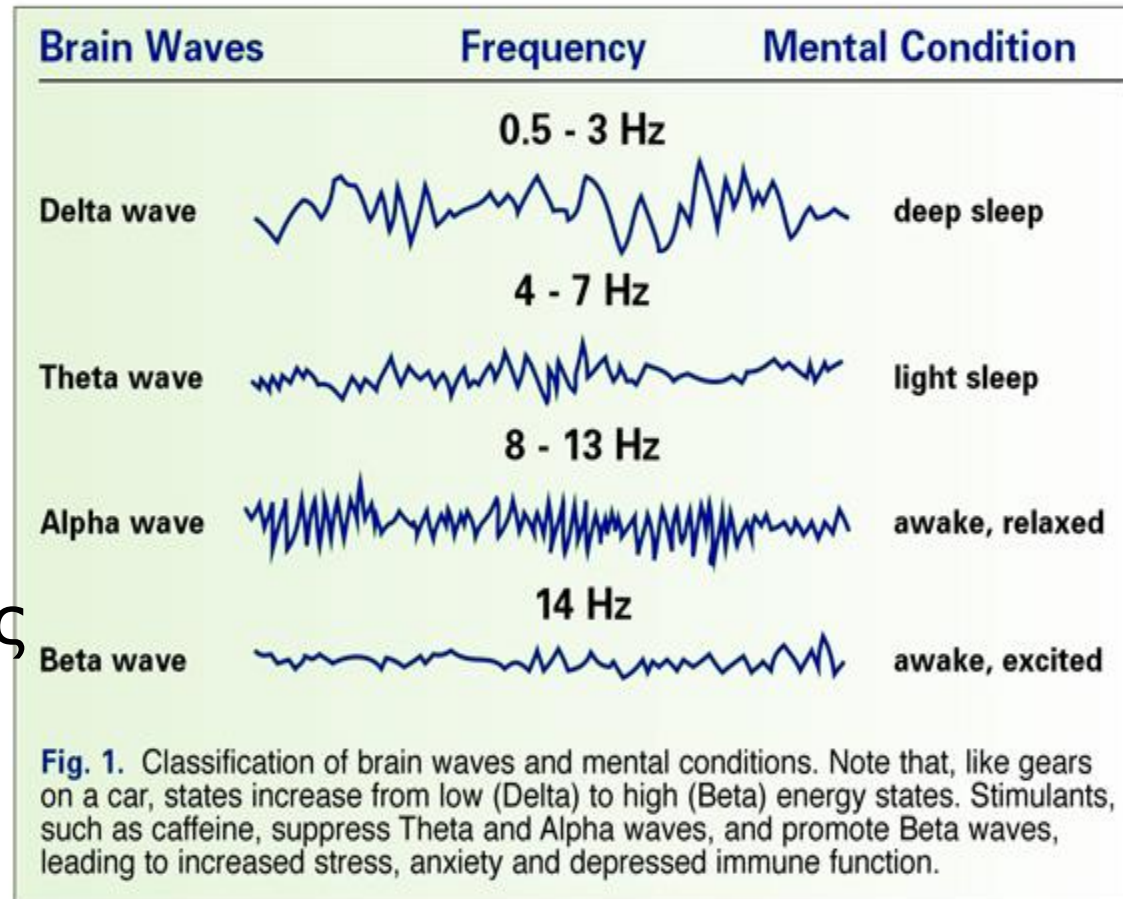
# Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή

- Τα EEG καταγράφουν ηλεκτρικά κύματα, τα οποία είναι ταλαντώσεις ηλεκτρικών τάσεων μερικών millivolt. Έξι αναγνωρισμένα εγκεφαλικά κύματα:
  - Delta: 1-4 Hz.
  - Theta: 4-7 Hz.
  - Alpha: 8-12 Hz.
  - Mu: δραστηριότητα τύπου Alpha στη σωματοαισθητική περιοχή
  - Beta: 12-30 Hz.
  - Gamma: 30-100 Hz.



# Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή

- Υπογραφή (signature):
- Τα χαρακτηριστικά των εγκεφαλικών σημάτων που προκαλούνται από συγκεκριμένη νοητική διεργασία ή κατάσταση
  - Μερικά χαρακτηριστικά: Φάση κύματος, ένταση κύματος, χρονική εμφάνιση.
  - Για τις πιο πολλές νοητικές διεργασίες οι υπογραφές είναι υπό έρευνα
    - Μια γνωστή υπογραφή είναι αυτή του ύπνου.





# Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή

- Υπογραφή (signature):
- Η αναγνώριση της υπογραφής για μια ενέργεια είναι εφικτή πλέον για κάθε χρήστη ατομικά
  - έπειτα από εκπαίδευση των BCI
- Το πρόβλημα είναι να αναγνωριστούν υπογραφές για μεγάλες ομάδες πληθυσμού
  - Από όλα τα ανιχνεύσιμα χαρακτηριστικά της εγκεφαλικής δραστηριότητας, ποια είναι αυτά που σχετίζονται άμεσα με την υπό μελέτη ενέργεια για μεγάλες ομάδες του πληθυσμού;
  - Δύσκολο πρόβλημα, επειδή η εγκεφαλική δραστηριότητα για την ίδια ενέργεια μπορεί να διαφέρει αρκετά.



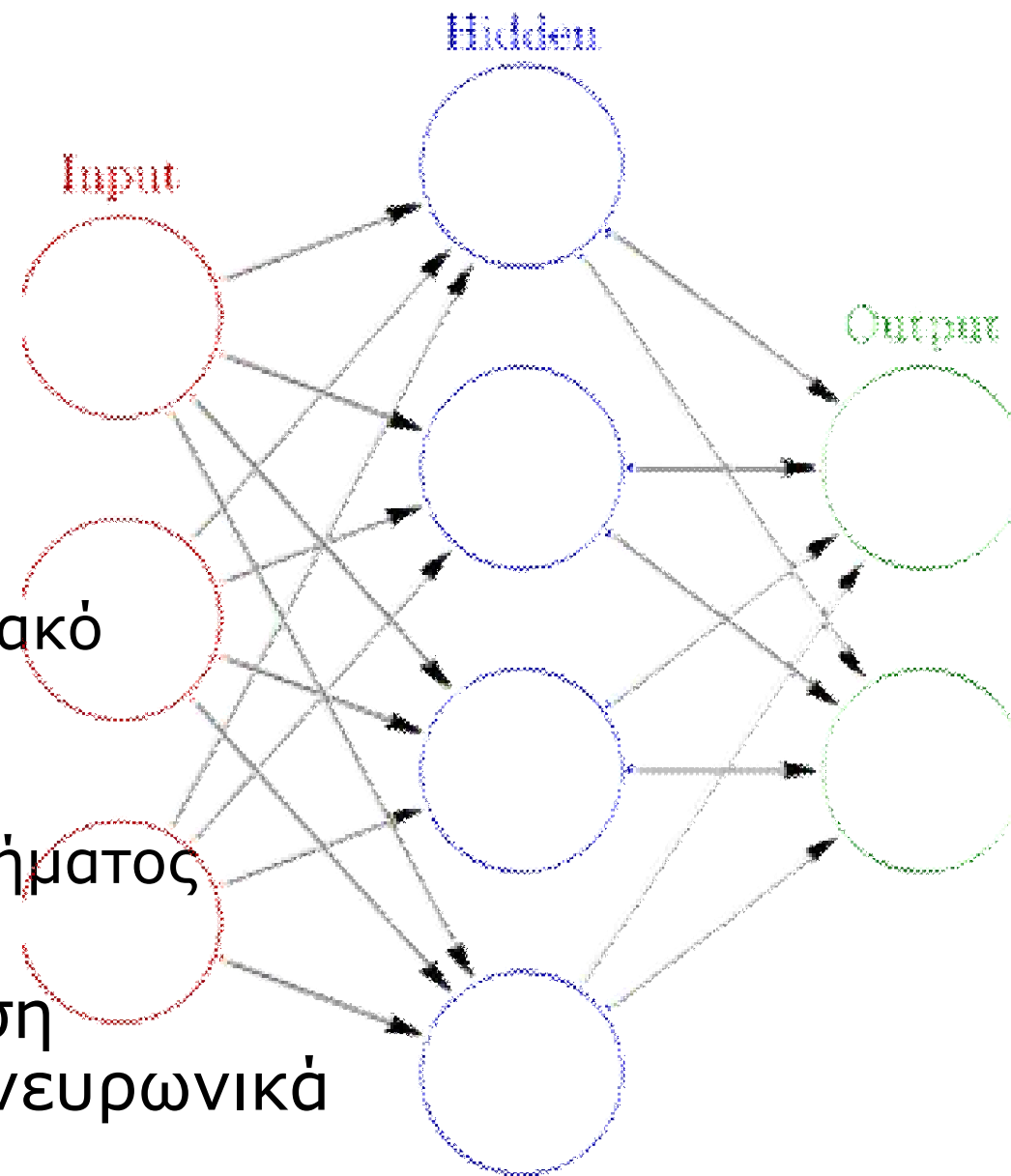
---

# Διεπαφές Εγχειράλου-Υπολογιστή

- Τεχνολογία της διεπαφής: υλικό + λογισμικό, περιορισμοί.
-

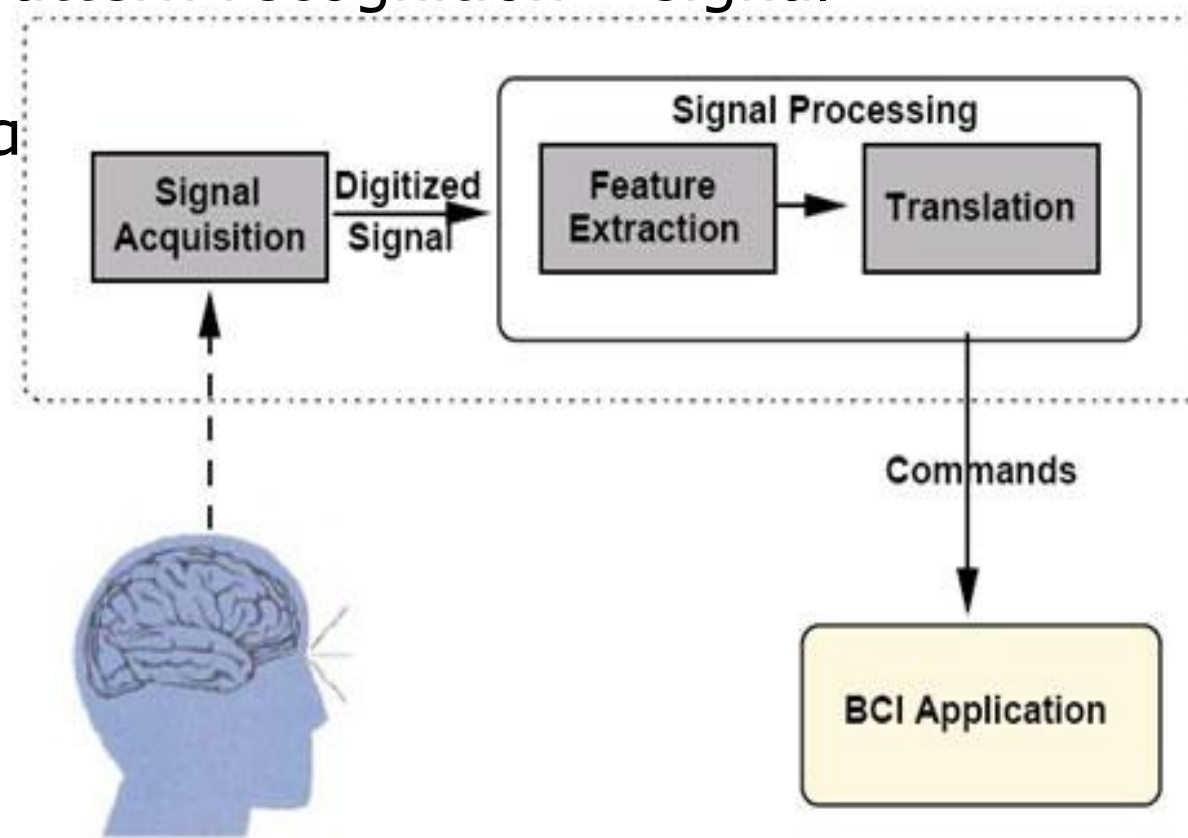
# Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή

- Μια BCI είναι διεπαφή μεταξύ του ανθρώπινου νευρικού συστήματος και ενός η/υ.
  - Στόχος: να επιτρέψει στους ανθρώπους να ελέγχουν συσκευές μόνο με τη σκέψη τους
- Κάθε BCI απαιτεί κάποιο χρόνο εκπαίδευσης (training):
  - Επαναληπτική λήψη σήματος από τον εγκέφαλο για μια σκέψη για ανθρώπινη ενέργεια :
    - π.χ. σκέψη κίνησης δεξιού χεριού προς τα πάνω
  - Μετατροπή του σήματος σε ψηφιακό
  - Επεξεργασία του σήματος με απομόνωση χαρακτηριστικών
  - Απόδοση χαρακτηριστικών του σήματος σε αυτά της ενέργειας.
- Η πλέον συνηθισμένη μοντελοποίηση της διαδικασίας γίνεται με τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (artificial neural nets).



# Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή

- Κατά τη λειτουργία της, η BCI:
  - Λαμβάνει το εγκεφαλικό σήμα και το μετατρέπει σε ψηφιακό
  - Απομονώνει τα χαρακτηριστικά του σήματος (feature extraction)
  - Μετατρέπει (translation) το σήμα σε εντολή συστήματος...
    - Συγκρίνει με τα προαποθηκευμένα χαρακτηριστικά (από τη φάση της εκπαίδευσης) (pattern recognition – signal processing)
    - Εφόσον υπάρχει ταίριασμα (matching) εκτελεί την ενέργεια (π.χ. κινεί το βραχίονα προς μια κατεύθυνση)
  - Ανάλογα με την ανάδραση που παίρνει η εφαρμογή μπορεί να βελτιστοποιεί την λειτουργία της (machine learning).



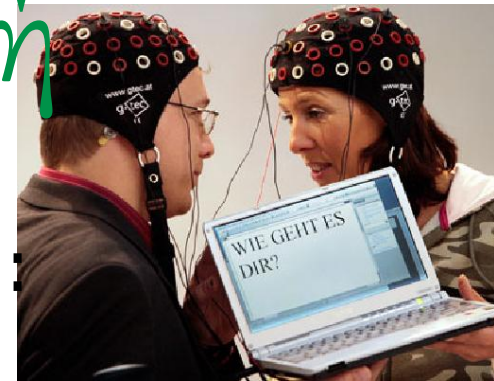


# Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή

- Τεχνολογία BCI.
  - Από το 2000 και μετά έχουν εμφανιστεί φθηνές, μη παρεμβατικές τεχνολογίες ανίχνευσης και καταγραφής εγκεφαλικών σημάτων, π.χ.:
  - EMOTIV Eroc: <http://www.emotiv.com>
  - NeuroSky: <http://www.neurosky.com>
- Περιλαμβάνουν ηλεκτρόδια τοποθετημένα στο κεφάλι με ζελέ (αγωγιμότητα)
- Απαιτείται φυσική σύνδεση στη μηχανή



# Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή



- Ιδανικά μια BCI αλληλεπίδραση θα πρέπει να γίνεται:
  - με μικρή προσπάθεια (αποφυγή κούρασης)
  - μέσω δημιουργίας ισχυρών εγκεφαλικών σημάτων ώστε να μπορούν να διαβαστούν και ερμηνευτούν εύκολα
  - σε καταστάσεις όπου είναι ασφαλείς για το χρήστη και εύκολο για αυτόν να ελέγξει ή να αλλάξει
  - Με φιλική εξόδο και αποδοτική ανάδραση
- Δυστυχώς σήμερα οι BCI δεν καλύπτουν όλα τα παραπάνω κριτήρια
  - Απαιτείται σημαντική πνευματική προσπάθεια για να παραχθούν από το χρήστη επαρκώς μεγάλα σήματα
  - Οι χρήστες πρέπει να έχουν εστιασμένη την προσοχή τους στην επικοινωνία με τον υπολογιστή.
  - Είναι πιθανό να συμβούν λάθη κατά την αλληλεπίδραση επειδή η διεπαφή δεν μπορεί να απενεργοποιηθεί σε απροσδόκητα γεγονότα
    - π.χ. ο χρήστης μπορεί να αφαιρεθεί και να σκεφτεί κάτι που να ενεργοποιήσει τη διεπαφή...

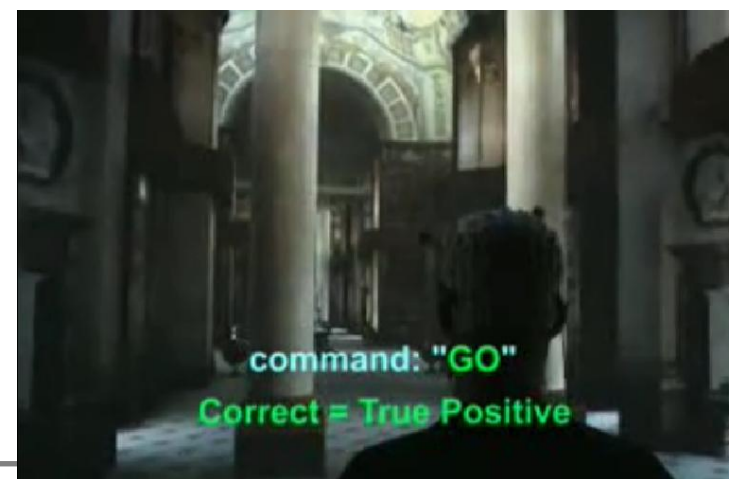
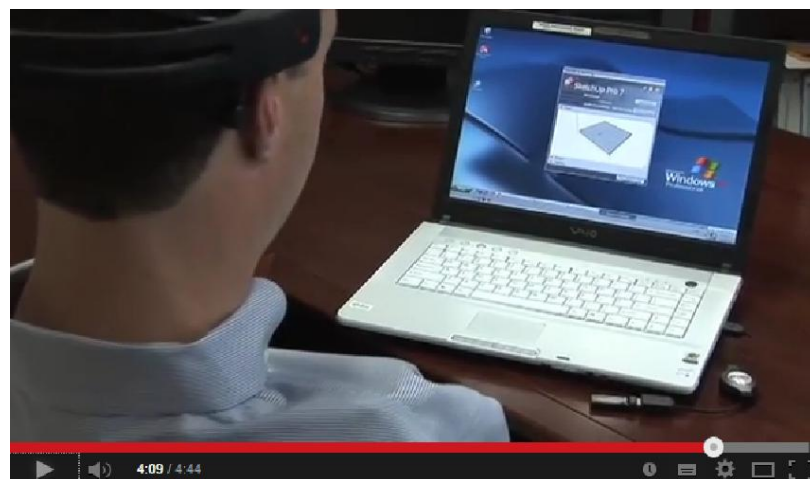
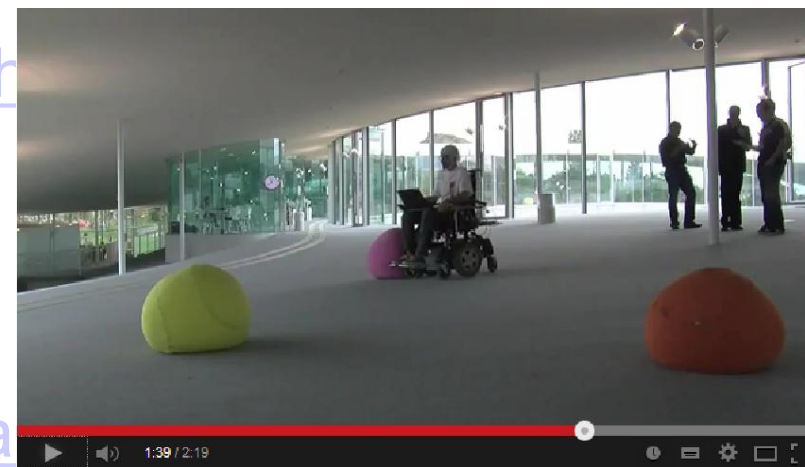
---

# Διεπαφές Εγχειράλου-Υπολογιστή

- Εφαρμογές και προοπτική.

# Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή

- Χρήση ρομποτικού βραχίονα από ΑμΕΑ
  - <http://www.youtube.com/watch?v=76IIQtE>
- Κίνηση αναπηρικής καρέκλας με τη σκέψη
  - <http://www.youtube.com/watch?v=gvR0kh>
- Πλοήγηση σε εικονικό κόσμο με τη σκέψη
  - <http://www.youtube.com/watch?v=QnztNh>  
[d](http://www.youtube.com/watch?v=QnztNhd)
  - <http://vimeo.com/42691970>
- Mind mouse!
  - <http://www.youtube.com/watch?v=8EEIJa>



---

# Διεπαφές Εγχειράλου-Υπολογιστή

- Αναφορές
  - Graimann, B., Allison, B., & Pfurtscheller, G. (2010). Brain-computer interfaces: A gentle introduction. In Brain-Computer Interfaces (pp. 1-27). Springer Berlin Heidelberg.
  - Tan, D. S., & Nijholt, A. (2010). Brain-Computer Interfaces: applying our minds to human-computer interaction. Springer.
  - van Gerven, M., Farquhar, J., Schaefer, R., Vlek, R., Geuze, J., Nijholt, A., ... & Desain, P. (2009). The brain-computer interface cycle. Journal of Neural Engineering, 6(4).
-