



HMY 370

Εισαγωγή στη Βιοϊατρική Μηχανική

Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή

Προοπτική ...



- **Φανταστείτε πόσο εξουθενωτικό θα είναι:**

- Να είσαι παράλυτος από το λαιμό και κάτω (τετραπληγία)!
- Να μην μπορείς να αναπνεύσεις από μόνος σου (μηχανική υποστήριξη της αναπνοής)!
- Μερικές φορές να μην μπορείς να μιλήσεις!



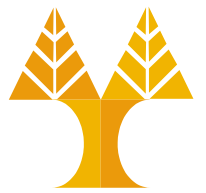
Προοπτική ...



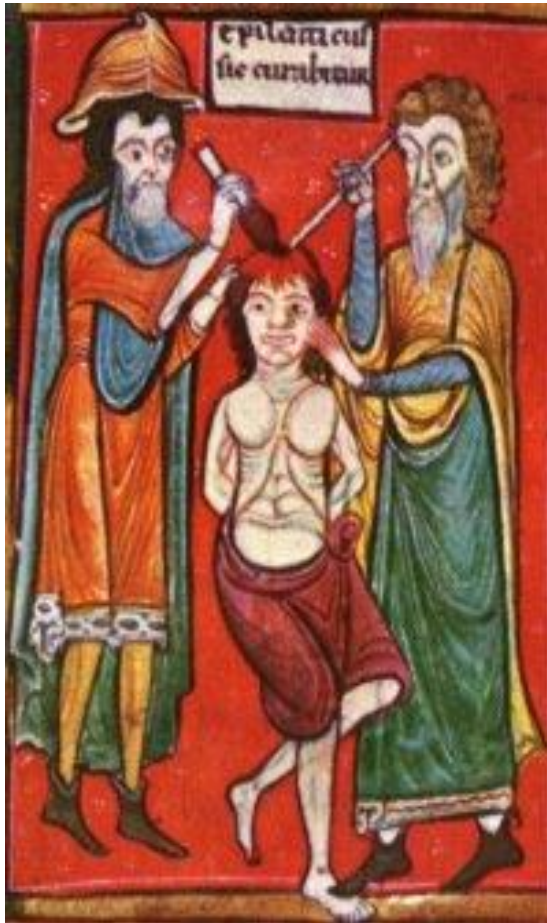
- **Starbase 11, Stardate 3012.4 (i.e. January 5, 2326)**
 - “Captain Christopher Pike... Wheelchair constructed to respond to brain waves ... A flashing light to say ‘yes’ or ‘no’ ... Kept alive mechanically by a battery driven heart ...”
 - Star Trek TV Series, 1966.
- **Που είμαστε σήμερα;**



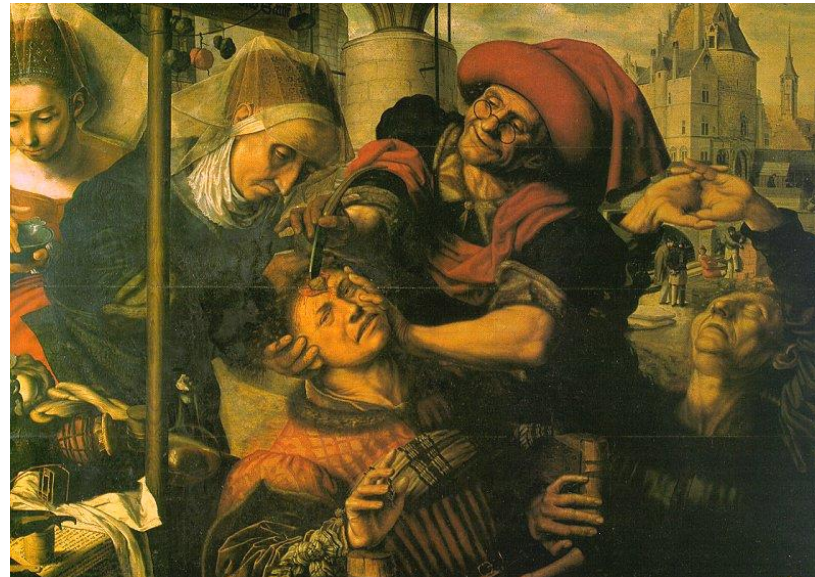
Προοπτική ...



- Τεχνολογίες για τη μελέτη της λειτουργίας του εγκεφάλου



Epilepticus sic curabitur ('The way to cure an epileptic')
Sloane Manuscript, collection of medical manuscripts, end
of the 12th century - British Museum, London



Jan Sanders
Van Hemessen
(1500-1566),
The surgeon
1550, El Prado,
Madrid



- **Καταγραφή σημάτων του εγκεφάλου από το ανθρώπινο κρανίο**

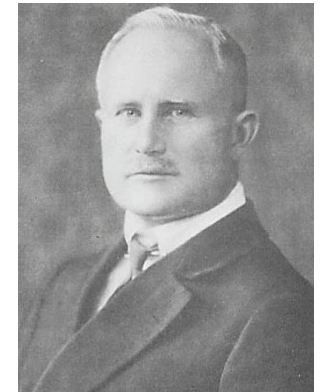
- 1924: Ο Hans Berger ανακαλύπτει το EEG
- Στη συνέχεια μελέτησε τη συσχέτιση του EEG με τις εγκεφαλικές παθήσεις

- **Η πρώτη ΔΕΥ περιγράφηκε από τον Dr. Grey Walter το 1964**

- Συνέδεσε ηλεκτρόδια απευθείας στις κινητικές περιοχές του εγκεφάλου ασθενούς (που υποβάλλονται σε χειρουργική επέμβαση για άλλους λόγους.)
- Ο ασθενής κλήθηκε να πατήσει ένα κουμπί για να προωθήσει ένα προβολέα διαφανειών
- Ο Δρ Walter κατέγραφε τη σχετική δραστηριότητα του εγκεφάλου
- Στη συνέχεια, το σύστημα συνδέθηκε με τον προβολέα διαφανειών, έτσι ώστε ο προβολέας διαφανειών να προχωρεί όποτε η δραστηριότητα του εγκεφάλου του ασθενούς έδειχνε ότι ήθελε να πατήσει το κουμπί.
- Το ενδιαφέρον είναι ότι ο προβολέας διαφανειών προχωρούσε πριν ο ασθενής πατήσει το κουμπί!
- Έλεγχος πριν από την πραγματική κίνηση = το πρώτο BCI!
- Δυστυχώς, ο Δρ Walter δεν δημοσίευσε αυτό το σημαντικό επίτευγμα.

- **Η έρευνα σε ΔΕΥ προχωρούσε αργά για πολλά ακόμη χρόνια.**

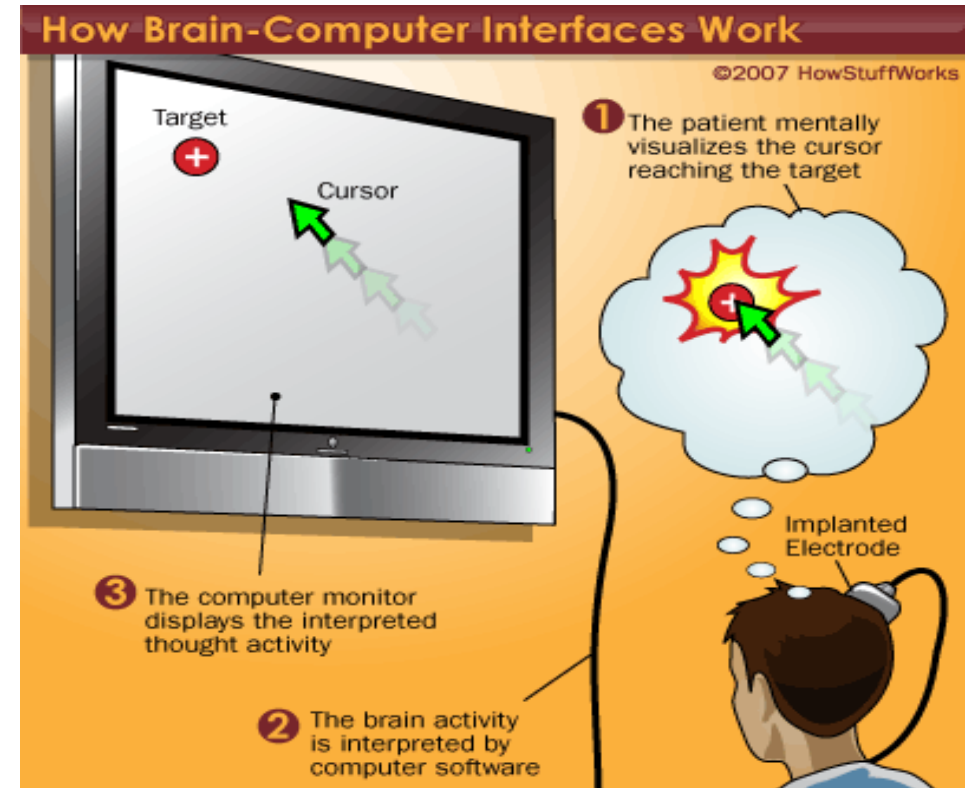
- **Η έρευνα αναπτύχθηκε ραγδαία κατά την τελευταία δεκαετία.**



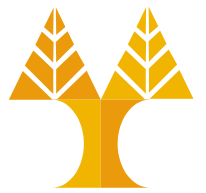
Τι είναι μια ΔΕΥ;



- **Φυσιολογική διεπαφή μεταξύ εγκεφάλου και υπολογιστή**
 - Χέρια, μάτια, φωνή, κλπ
 - Καταστρέφεται λόγω εγκεφαλικού επεισοδίου, τραύματος, παράλυσης, ή νευροπάθειας
- **Μια ΔΕΥ:**
 - Διαβάζει ηλεκτρικά σήματα ή άλλες εκδηλώσεις της δραστηριότητας του εγκεφάλου
 - Τα μετατρέπει σε ψηφιακή μορφή που οι υπολογιστές μπορούν να καταλάβουν και να επεξεργαστούν
 - Τα μετατρέπει σε δράσεις
 - Π.χ. μετακίνηση του κέρσορα ή ενεργοποίηση μιας συσκευής
- **Οι ΔΕΥ μπορούν να βοηθήσουν άτομα με ειδικές ανάγκες να ελέγχουν (με τη δραστηριότητα του εγκεφάλου)**
 - Υπολογιστές
 - Αναπηρικές καρέκλες
 - Ή άλλες συσκευές

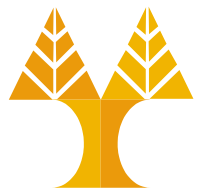


Τι είναι μια ΔΕΥ;



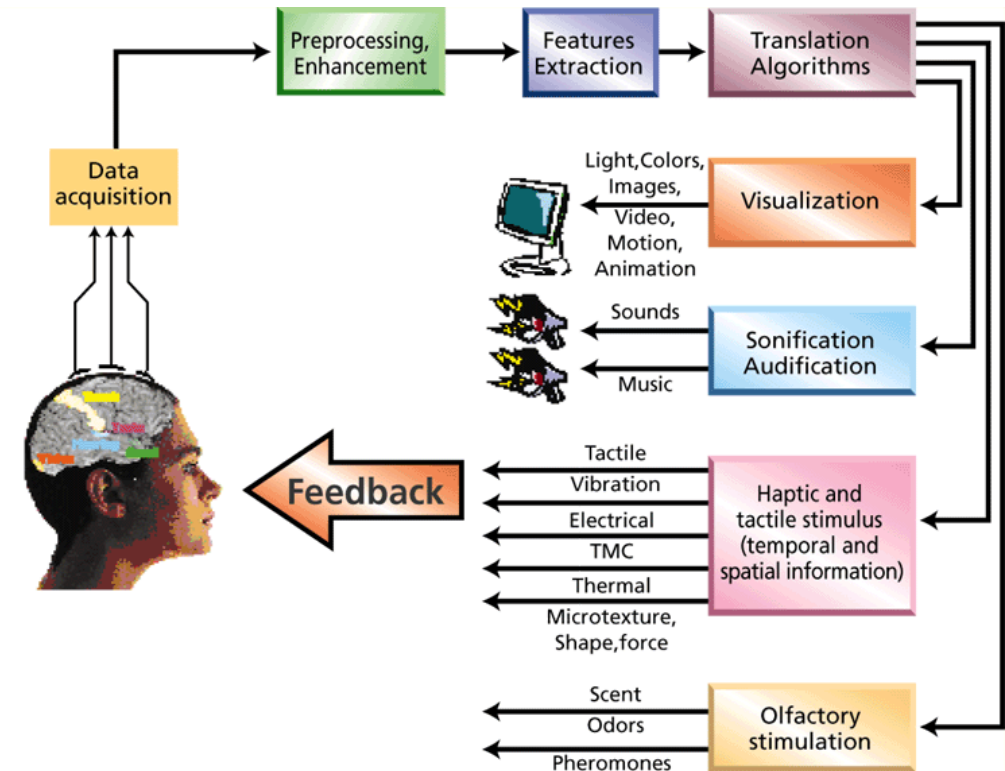
- Οι ΔΕΥ δεν είναι νευροπροσθετικά (neuroprosthetics)
- **Νευροπροσθετικά (neuroprosthetics)**
 - Χρησιμοποιούνται τεχνητές συσκευές για να αντικαταστήσουν τη λειτουργία προβληματικών μερών του νευρικού συστήματος ή αισθητήριων οργάνων.
 - Συνδέουν το νευρικό σύστημα με μια συσκευή
 - Π.χ. κοχλιακά εμφυτεύματα, εμφυτεύματα του αμφιβληστροειδούς.
- **ΔΕΥ**
 - Συνδέουν την δραστηριότητα του εγκεφάλου (ή του κεντρικού νευρικού συστήματος) με ένα σύστημα υπολογιστή.
 - Π.χ. ΗΕΓ → υπολογιστή

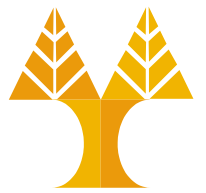
Τα Μέρη μιας ΔΕΥ



- Τα 3 βασικά μέρη των ΔΕΥ είναι

- Συσκευές μέτρησης νευρικών σημάτων από τον ανθρώπινο εγκέφαλο
- Μέθοδοι και αλγόριθμοι για την αποκωδικοποίηση των καταστάσεων / προθέσεων του εγκεφάλου από αυτά τα σήματα
- Μεθοδολογία και αλγόριθμοι για τη χαρτογράφηση της αποκωδικοποιημένης εγκεφαλικής δραστηριότητας στην προτιθέμενη συμπεριφορά ή ενέργεια.

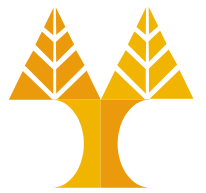




- Βασική προϋπόθεση / παραδοχή
 - Η όποια πρόθεση αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο και διακριτό μέρος του σήματος από τον εγκέφαλο
- Το σήμα από τον εγκέφαλο μπορεί να προέλθει από
 - Επεμβατικά ηλεκτρόδια
 - Μη επεμβατικές μετρήσεις
 - EEG, fMRI, κλπ.



Σύστημα ΔΕΥ: Είσοδοι

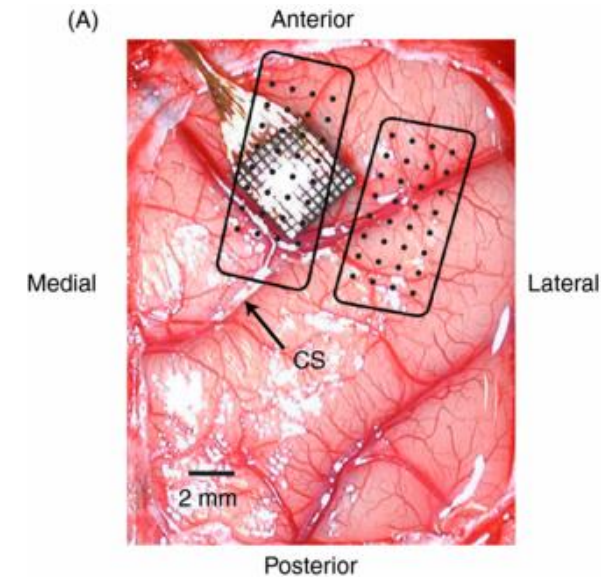


- **Επεμβατικές ΔΕΥ**

- Πιο ακριβές σήμα
- Πιο επικίνδυνες
 - Μπορεί να προκαλέσει ζημιά στον εγκέφαλο, αφήνει τον εγκέφαλο εκτεθειμένο
- Η ακρίβεια φθίνει με το χρόνο
 - Ζημιά στον εγκέφαλο, η άμυνα του οργανισμού επιτίθεται στα ξένα σώματα, ουλώδης ιστός

- **Χρησιμοποιείσαι και για νευροπροσθετικά (π.χ. τεχνητή όραση)**

- 68 ηλεκτρόδια εμφυτευμένα στον εγκέφαλο εθελοντή
- Του επιτρέπει να βλέπει εικόνες μεγάλων αντικειμένων αλλά χωρίς λεπτομέρειες
- Σε θέση να χρησιμοποιεί αυτή την ατελή αποκατάσταση της όρασης του για να οδηγεί αργά





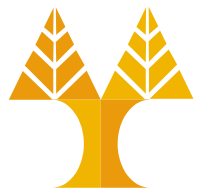
- **Μερικώς επεμβατικές ΔΕΥ**

- Πιο ακριβείς από ότι η μη-επεμβατικές ΔΕΥ, πιο επικίνδυνες
- Λιγότερο ακριβείς από τις επεμβατικές ΔΕΥ, λιγότερο επικίνδυνες
- Τοποθετούνται κάτω από το κρανίο, αλλά όχι στον εγκέφαλο

- Ηλεκτροφλοιογραφία (Electrocorticography - ECoG)

- Μια πολλά υποσχόμενη ενδιάμεση ΔΕΥ
 - Καλύτερη χωρική ευκρίνεια
 - Καλύτερος λόγος σήματος θρύβου
 - Ευρύτερο φάσμα συχνοτήτων
- Δοκιμάστηκε πρώτα σε ανθρώπους το 2004
 - Ένα έφηβο αγόρι που έπασχε από επιληψία για να παίξει Space Invaders.
- Η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε επίσης για να αποκαλυφθούν οι νευρικές διαφορές μεταξύ των φωνηέντων και συμφώνων





- **Μη επεμβατικές ΔΕΥ**

- Λιγότερο ακριβές σήμα
 - Το κρανίο αλλάζει το σήμα από τον εγκέφαλο και μπορεί να προκαλέσει προβλήματα
- Λιγότερο επικίνδυνες
 - Ο εγκέφαλος δεν είναι εκτεθειμένος, λιγότεροι κίνδυνοι για την υγεία



- **Ηλεκτροεγκεφαλογραφία (ΗΕΓ)**

- Μετρά την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου
- Μη-Επεμβατική
- Ευαίσθητη στο θόρυβο
- Εύκολη στη χρήση + χαμηλό κόστος + φορητή
- Η πιο συνηθισμένη μέθοδος στις ΔΕΥ

- **Μαγνητοεγκεφαλογραφία (ΜΕΓ)**

- Μετρά μαγνητικά πεδία που παράγονται από την ηλεκτρική δραστηριότητα στον εγκέφαλο
- Μη επεμβατική
- Πολύ ακριβής
- Ψηλές απαιτήσεις σε εξοπλισμό και κόστος συντήρησης (απαιτεί υπεραγώγιμα πηνία και υπερβολική μόνωση)

- **Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (fMRI)**

- Μετρά τη ροή αίματος στον εγκέφαλο με τη χρήση μαγνητικής τομογραφίας (αιμοδυναμική)
- Η ροή του αίματος συσχετίζεται με την νευρική δραστηριότητα
- Μελέτες λειτουργίας του εγκεφάλου
- Πολύ ακριβής
- Πολύ ψηλό κόστος (μια και βασίζεται στον μαγνητικό τομογράφο)

Σύστημα ΔΕΥ: Επεξεργασία



• Προ-Επεξεργασία

- Τα πρώτα βήματα για τη βελτίωση του σήματος
- Π.χ. ο ανασυνδυασμός ηλεκτροδίων μπορεί να βελτιώσει το SNR του ΗΕΓ

• Βελτίωση Σήματος

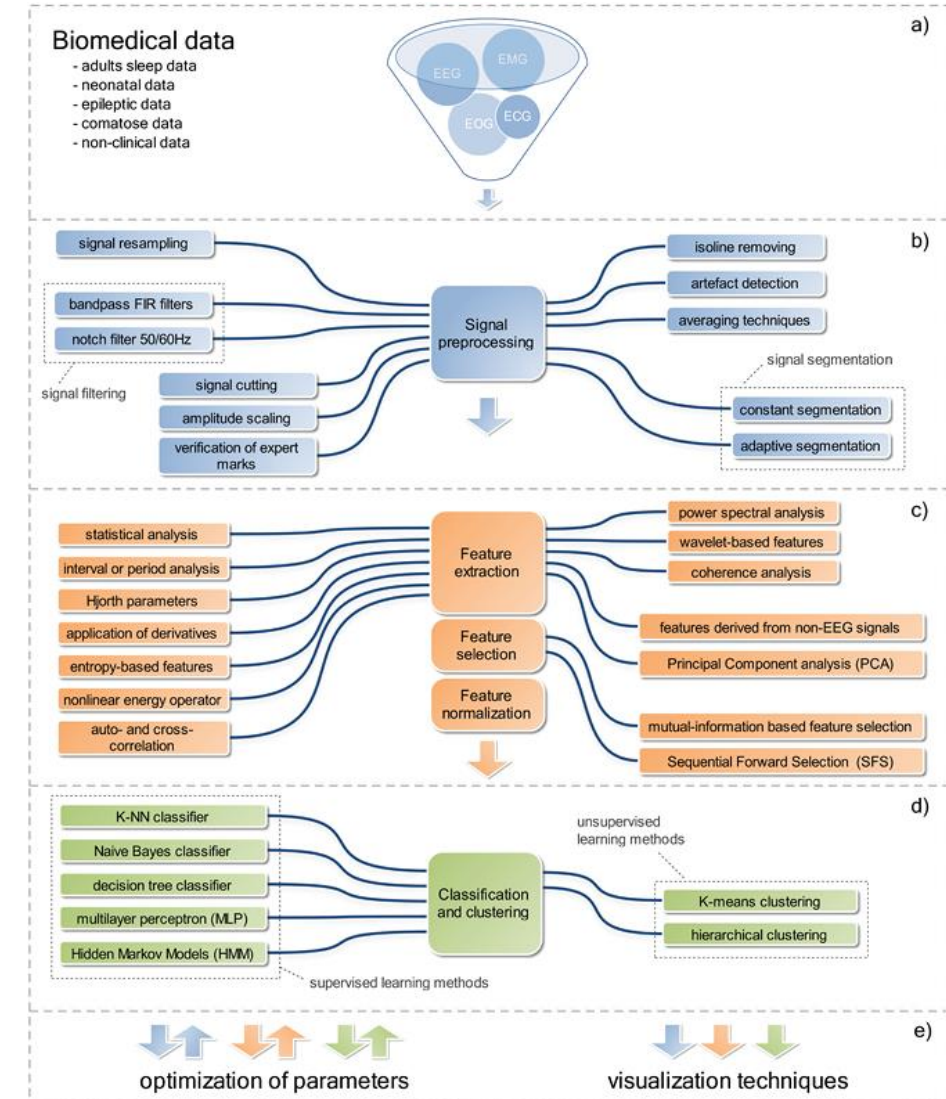
- Επεξεργασία για να βελτιωθεί η ποιότητα του σήματος
- Π.χ. φιλτράρισμα για μείωση του θορύβου

• Εξαγωγή Χαρακτηριστικών

- Εξάγονται χρήσιμα χαρακτηριστικά του σήματος
 - Τα χαρακτηριστικά πρέπει να συσχετίζονται με την πρόθεση
 - Πρέπει να είναι ανιχνεύσιμα σε μία δοκιμή
- Π.χ. Ανάλυση Ανεξάρτητων Συνιστωσών

• Αλγόριθμοι μετάφρασης

- Μεθοδολογία και αλγόριθμοι για τη χαρτογράφηση της αποκωδικοποιημένης εγκεφαλικής δραστηριότητας στην προοριζόμενη συμπεριφορά ή ενέργεια.
- Δύο κύριες προσεγγίσεις εκπαίδευσης:
 - Μηχανική μάθηση ωμής βίας (brute force) και εκπαίδευσης (training)
 - Χαρακτηριστικά με μια λειτουργική συσχέτιση



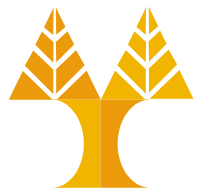
Σύστημα ΔΕΥ: Ενεργοποίηση & Ανάδραση



- **Κατασκευή διατάξεων που μπορούν να εκτελέσουν το επιδιωκόμενο έργο**
 - Κέρσoras του ποντικιού
 - Ρομποτικός βραχίονας
 - Αισθητηριακές συσκευές (όραση, ακοή, κλπ.)
- **Ανάδραση για βελτίωση της εκπαίδευσης και της αποτελεσματικότητας**
 - Απτική
 - Οπτική
 - Ακουστική
- **Ανάδραση μπορεί να συμπεριληφθεί στην ίδια τη συσκευή**
 - Π.χ. ρομποτικός βραχίονας με ανατροφοδότηση για να ενισχύσει και να απλουστεύσει τη λειτουργία και να βελτιώσει την ασφάλεια



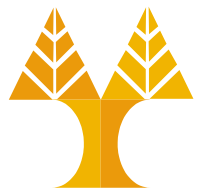
Επεμβατικές ΔΕΥ: Ο Πίθηκος Πρώτα ...



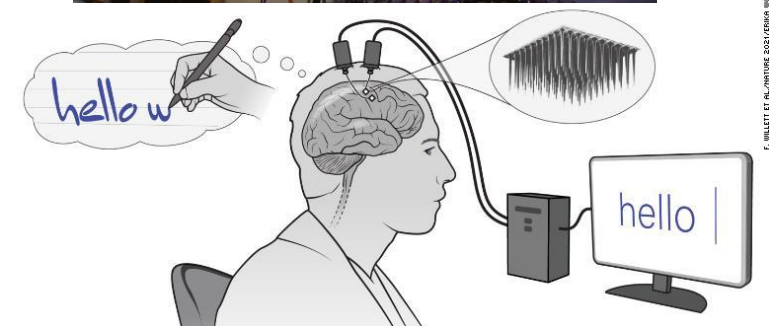
- **1990: Πρώτα επιτυχημένα πειράματα σε πιθήκους**
 - Εμφύτευση συστοιχίας ηλεκτροδίων στους εγκέφαλους πιθήκων
 - Καταγραφή των εγκεφαλικών κυμάτων πιθήκων
 - Εκτός Σύνδεσης (offline) αναπαραγωγή των κινήσεων
- **2000: Πίθηκοι ελέγχουν ρομπότ με τη σκέψη**



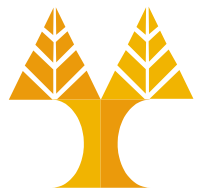
Επεμβατικές ΔΕΥ: ... και μετά ο άνθρωπος



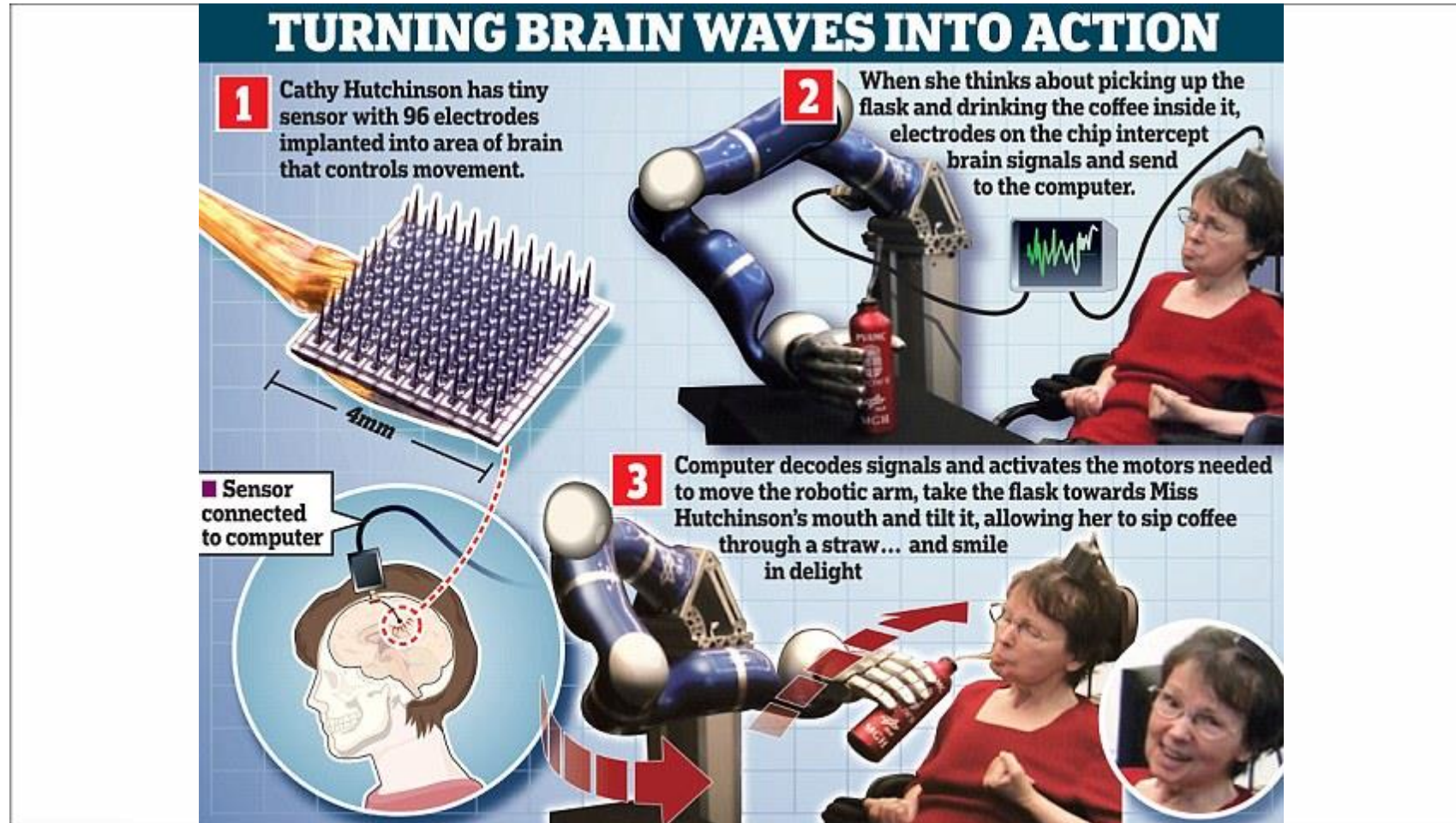
- **2004: Πρώτα οφέλη στον άνθρωπο από την έρευνα**
 - Ο Matt Nagle ήταν σε θέση να ελέγχει έναν υπολογιστή και να μετακινεί ένα προσθετικό χέρι
- **2012: Σύστημα δεύτερης γενεάς**
 - Η Cathy Hutchinson κινεί ένα ρομποτικό βραχίονα
 - Εμφύτευμα 96 ηλεκτροδίων
 - Βραχίονας τόσο ενεργοποιητές όσο και αισθητήρες για ανάδραση και διόρθωση κινήσεων
- **2021: Νέο ρεκόρ: Παράλυτος άνδρας πληκτρολογεί 18 λέξεις ανά λεπτό**
 - Λογισμικό αυτόματης συμπλήρωσης αυξάσει εντυπωσιακά την απόδοση αυτής της διασύνδεσης εγκεφάλου-υπολογιστή.
 - [Spectrum Link](#) (21-2-2017) → 8 λέξεις/λεπτό
 - [Nature](#) (12/5/2021) → 18 λέξεις/λεπτό
 - Υγιείς χρήστες → 23 λέξεις/λεπτό



Παράδειγμα ΔΕΥ



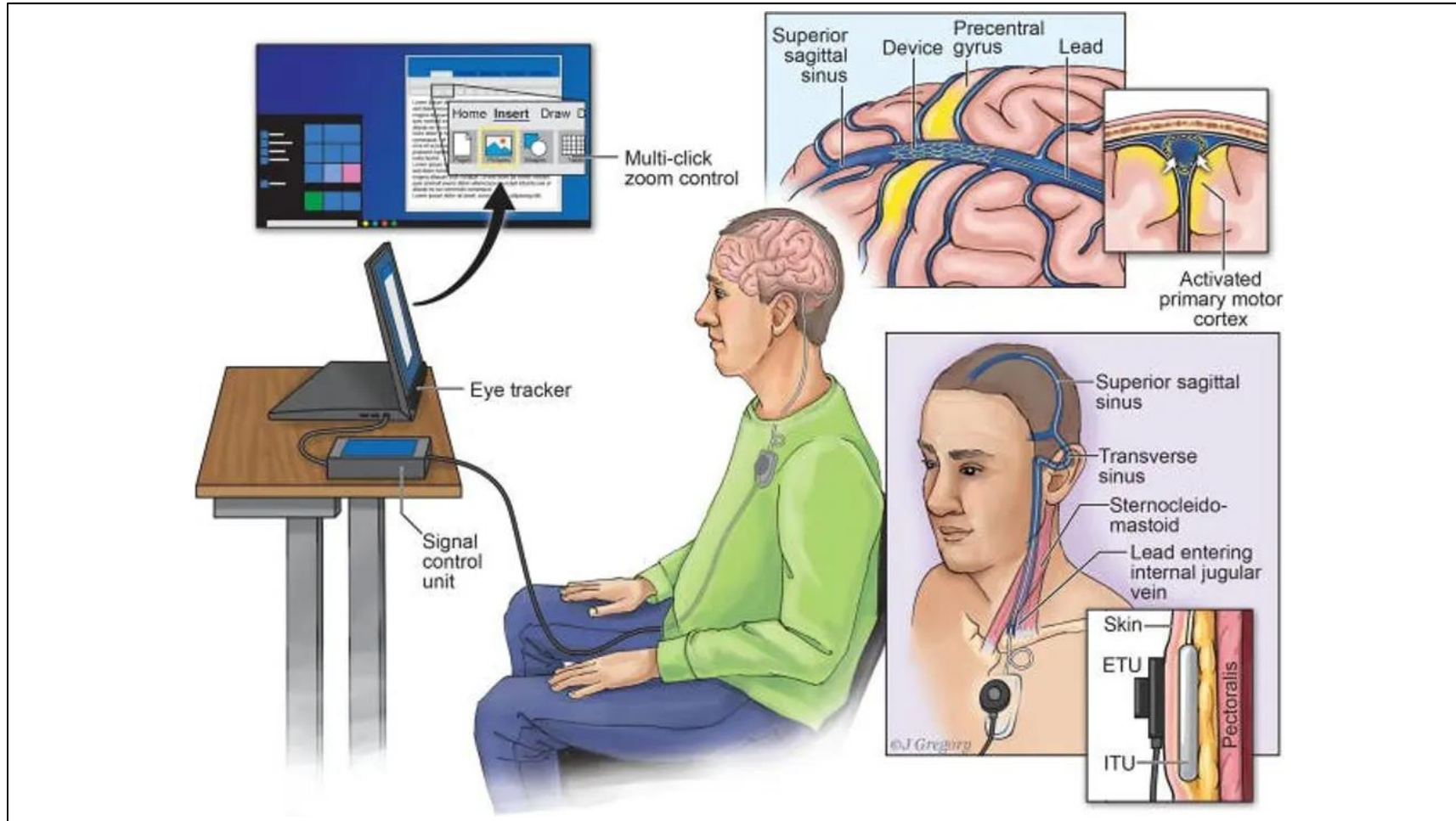
- Γυναίκα κινεί ρομποτικό βραχίονα με ενδοφλοιώδες εμφύτευμα



Παράδειγμα ΔΕΥ



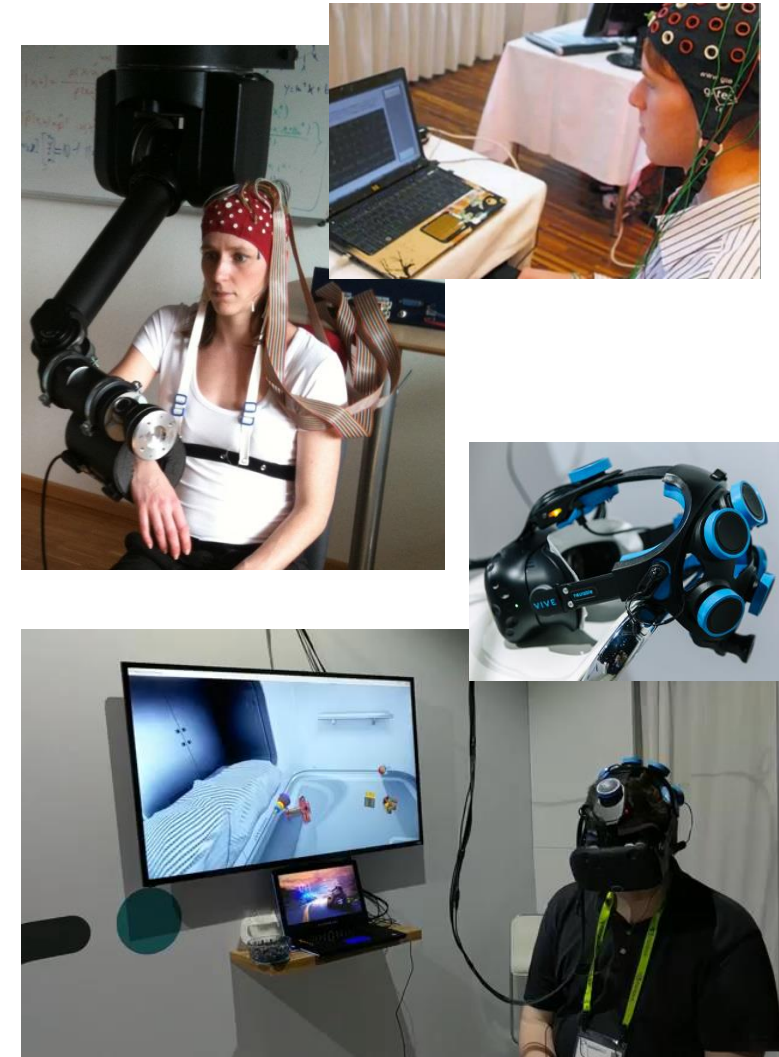
- 2021: BCI Award 2021 – Stentrode (<https://www.bci-award.com/>)



Εφαρμογές ΔΕΥ



- Περισσότερες μη επεμβατικές αντί επεμβατικές προσεγγίσεις
 - EEG
- **Ιατρική Αποκατάσταση**
 - Βλάβες από εγκεφαλικό επεισόδιο
 - ΔΕΥ χρησιμοποιείται για να διδάξει τον ασθενή πώς να κινεί τους μύες τους οποίους ο εγκέφαλος έχει ξεχάσει πώς να ελέγχει
- **Επικοινωνία**
 - Επικοινωνία με ασθενείς οι οποίοι έχουν νευρο-κινητικές αναπηρίες
 - Σύνδρομο Εγκλεισμού (Locked-In)
 - Συνδέεται ο ασθενής με ΔΕΥ, η έξοδος είναι κίνηση του κέρσορα
 - **Μαϊμούδες γράφουν 12 λέξεις ανά λεπτό με διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή.**
 - [Spectrum Link](#) (12-9-2016)
- **Παιχνίδια (Gaming)**
 - Mindflex (2007) - πορεία εμποδίων ελεγχόμενη από ΗΕΓ
 - OCZ Technology (2008) - δημιούργησε μια συσκευή για να παίζονται παιχνίδια που ελέγχονται από ΗΜΓ
 - NeuroSky (2009) - Star Wars Force Trainer
 - **Neurable: Το πρώτο παιχνίδι VR ελεγχόμενο από τον εγκέφαλο = έλεγχος χωρίς χέρια σε εικονική πραγματικότητα**



ΔΕΥ με Βάση το ΗΕΓ



- **Για δημιουργία ΔΕΥ με ΗΕΓ**

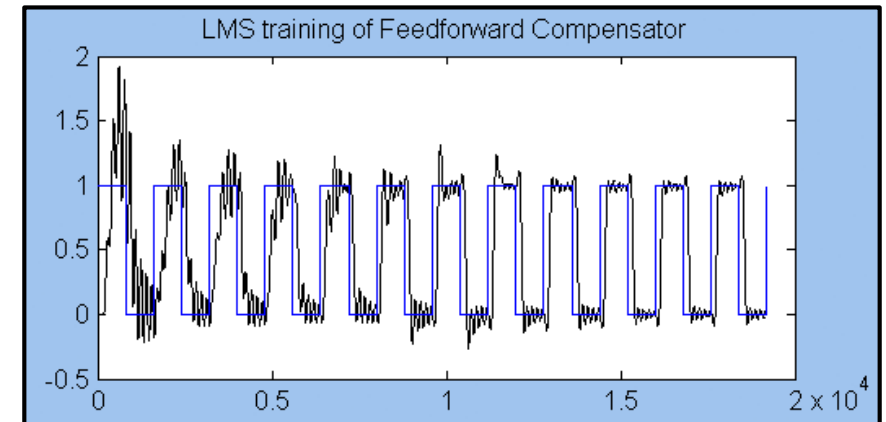
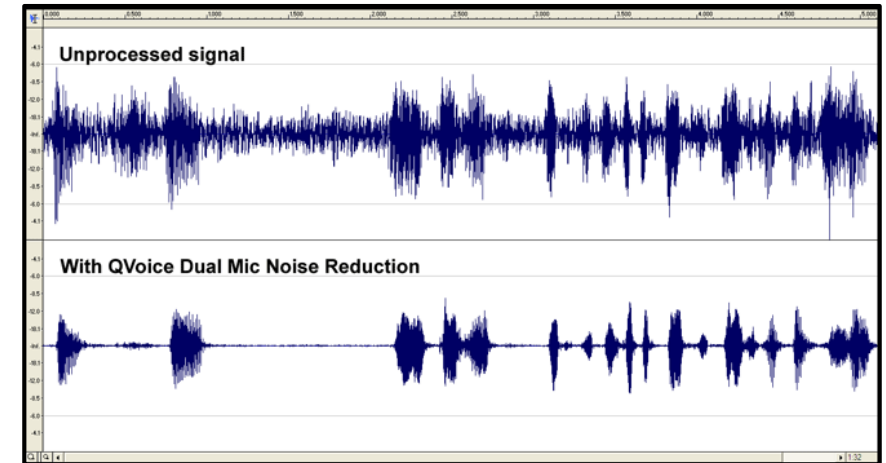
- Επεξεργασία σήματος από ΗΕΓ
- Εκπαίδευση του συστήματος και του χρήστη
- Σχεδιασμός εφαρμογής υπολογιστή

- **Τυπική Διαδικασία Επεξεργασίας**

1. Προ-επεξεργασία
2. Εξαγωγή Χαρακτηριστικών
3. Κατηγοριοποίηση

- 1. Προ-επεξεργασία**

- Βελτίωση του σήματος
 - Π.χ. φίλτρα συχνοτήτων ή/και ανασυνδιασμός ηλεκτροδίων για βελτίωση του SNR



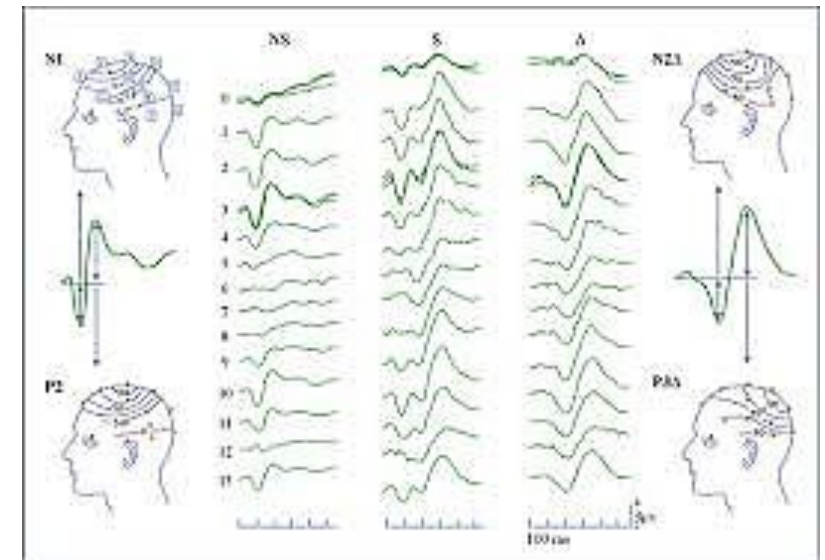


2. Εξαγωγή χαρακτηριστικών

- Το σήμα καταγράφεται σε 2 ή περισσότερες συνθήκες
- Τα χαρακτηριστικά πρέπει να συσχετίζονται με τις προθέσεις
- Πρέπει να εντοπίζονται **σε μια μόνο δοκιμή**
- Π.χ ανάλυση κύριων συνιστωσών

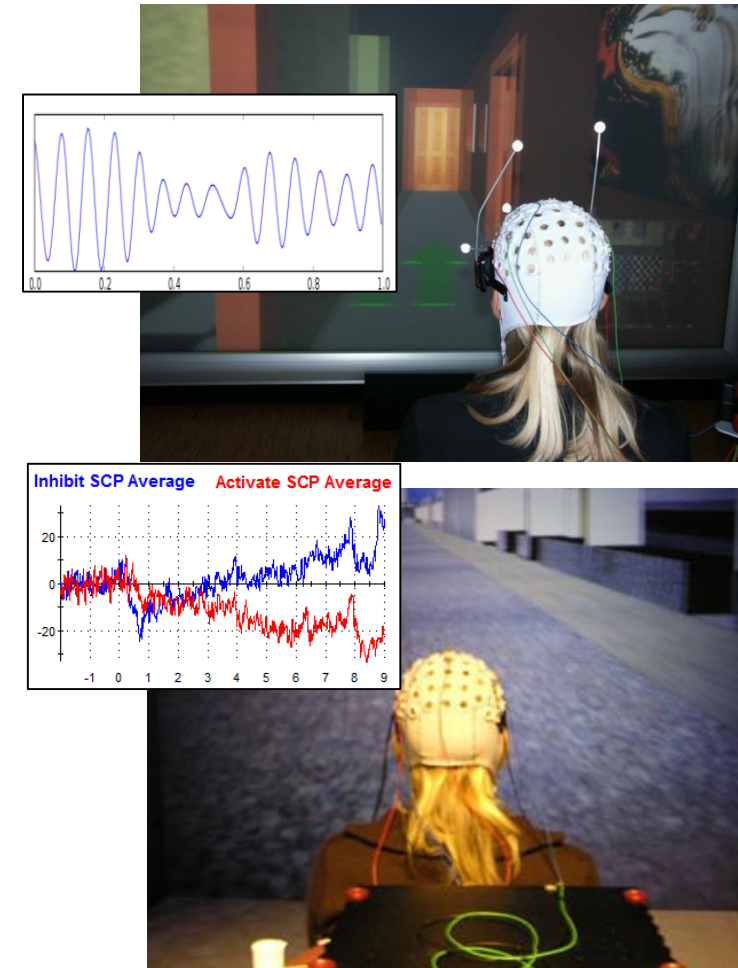
3. Κατηγοριοποίηση

- Δύο κύριες προσεγγίσεις:
 - Μηχανική Μάθηση Ωμής Βίας (Brute force)
 - Συνδυασμός όλων των πιθανών χαρακτηριστικών
 - Διάφορες προσεγγίσεις (π.χ. νευρωνικά δίκτυα, πλησιέστορος γείτονας κλπ)
 - Χαρακτηριστικά με λειτουργική συσχέτιση
 - Μετακινήσεις Δυναμικού (Potential shifts): Αργά φλοιακά δυναμικά
 - Ρυθμοί: α, μ, β, κλπ.
 - P300: Εξειδικευμένη Κυματομορφή





- Χαρακτηριστικά ΗΕΓ με λειτουργική συσχέτιση
 - Αισθητοκινητικός Ρυθμός (SMR)
 - Συνάρτηση περιοδικής δραστηριότητας του εγκεφάλου
 - Πολλοί ρυθμοί είναι “αδρανείς ρυθμοί” .
 - Ρυθμός α στον ινιακό λοβό (~10Hz)
 - Ρυθμός μ στον κινητικό φλοιό (~10 Hz)
 - Αργά Φλοιακά Δυναμικά (SCP)
 - Χαμηλοπερατά φιλτραρισμένο σήμα
 - Π.χ. δυναμικά Bereitschafts
 - Δυνατότητα να αυτό-ρυθμίζονται
 - Χρησιμοποιούνται επίσης για νευρο-ανάδραση
 - Θεραπεία Διαταραχής Ελλειμματικής Προσοχής και Υπερκινητικότητας (ΔΕΠΥ – ADHD)



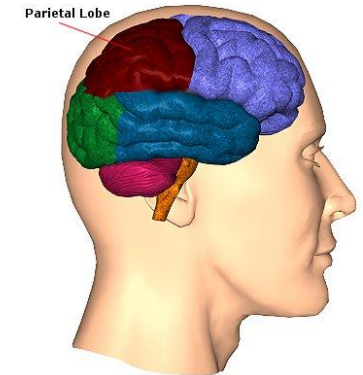
University college, London & TU Graz
VR application, controlling a wheelchair

ΔΕΥ με Βάση το ΗΕΓ

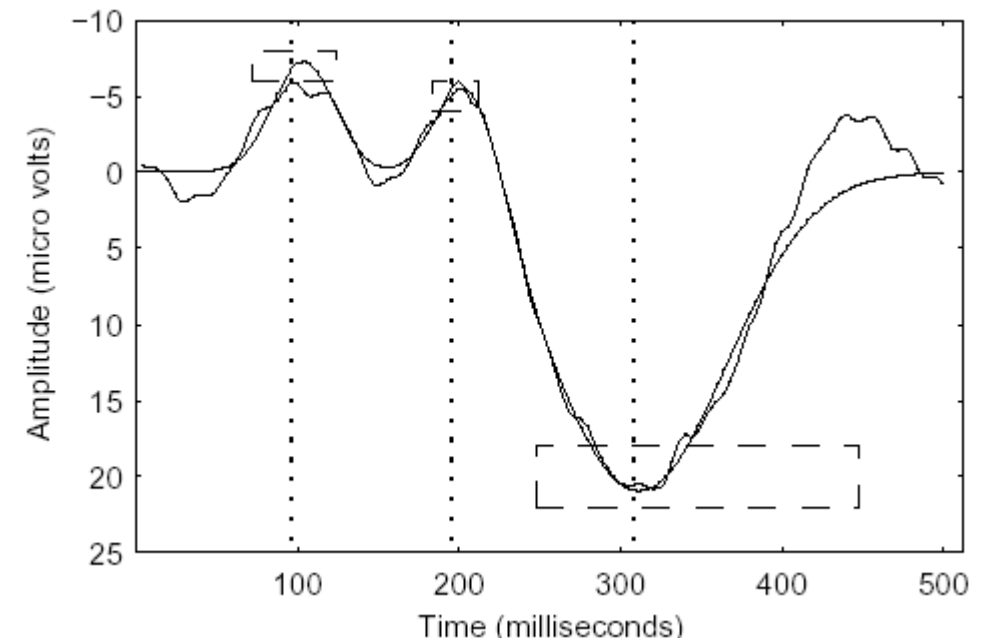


- **Χαρακτηριστικά ΗΕΓ με λειτουργική συσχέτιση**

- Οπτικά Προκλητά Δυναμικά (ΟΠΔ)
 - Προκαλούνται από οπτική διέγερση
 - Π.χ. φώτα που αναβοσβήνουν (3-6 Hz)
- P300
 - Προκλητό Δυναμικό
 - Λιγότερη εκπαίδευση
 - Καταδεικνύει προσοχή σε ένα στόχο
- Χαρακτηριστικά
 - Θετική απόκλιση στο ΗΕΓ μετά από 300ms
 - Μετά από σχετικό ερέθισμα
 - Ισχυρότερο σήμα στον βρεγματικό λοβό



Outline of a P300 speller application.
When target row/column is highlighted, it evokes a P300.



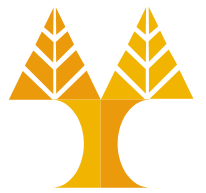


• P300 - Εφαρμογή

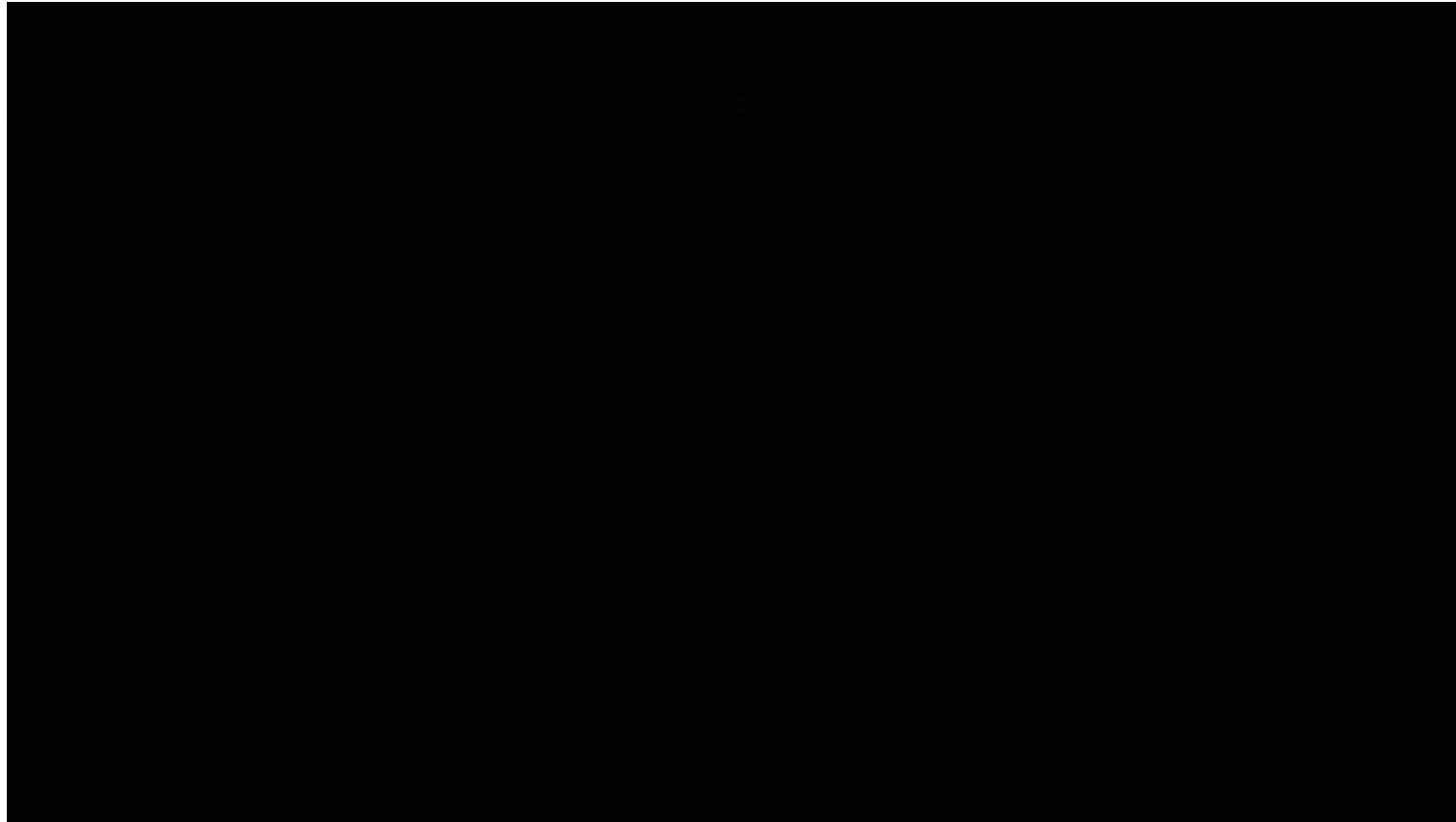
- Εργαλείο για πληκτρολόγηση
- 6x6 πεδία
- Αναγνώριση γραμμάτων γραμμή με στήλη
- Διαδοχική επανάληψη



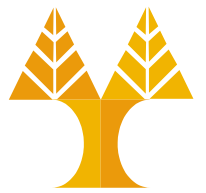
P300 Spelling Package in the BCI2000 open source research package, using the Emotiv EPOC Neuroheadset



- Οι εφαρμογές γίνονται όλο και πιο πολύπλοκες και πιο φορητές



Emo-Active, Saintrino Technologies, Montreal, Canada



- **Εκπαίδευση του Χρήστη**

- Υγιείς εθελοντές: βιο-ανάδραση
 - Μαθαίνουν να ελέγχουν φυσιολογικές “παραμέτρους”
 - Π.χ. ρυθμός καρδιάς, χαρακτηριστικά του ΗΕΓ
- Οι ασθενείς μπορούν μόνο να μάθουν τον έλεγχο, εφόσον τον είχαν πριν από τον τραυματισμό.



- **Εκπαίδευση του συστήματος**

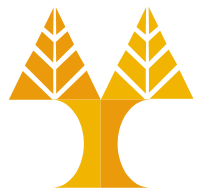
- Η σωστή λειτουργία απαιτεί εκτεταμένη εκπαίδευση
- Το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας γίνεται σε υγιή άτομα
- Οποιαδήποτε μέθοδος αναγνώρισης προτύπων (Pattern Recognition)
 - Πρόκληση στις ΔΕΥ: Διαφορετικά είδη δεδομένων
- Πολυπλοκότητα της κατηγοριοποίησης
 - Μειώνει το “φυσικό νόημα” του μετασχηματισμού;
- Δεν υπάρχει “συνεχής αμοιβαία μάθηση”
 - Κυρίως βασίζεται σε επεισόδια
 - Το σύστημα ενημερώνεται μεταξύ προσπαθειών
 - Κίνδυνος αστάθειας στους βρόγχους ανάδρασης



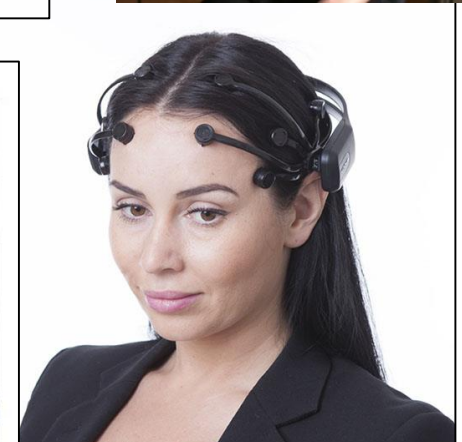
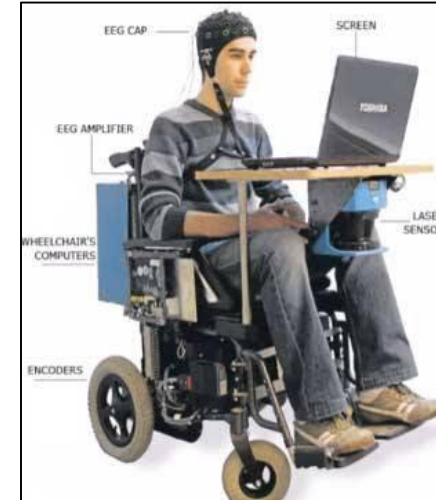
- **Τα πιο πολλά συστήματα δεν λειτουργούν σε διαφορετικά άτομα**

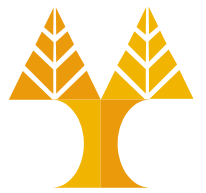
- Εξατομικευμένη εκπαίδευση
- Λόγω μεγάλων διαφορών μεταξύ εθελοντών;

Κλινική Χρήση



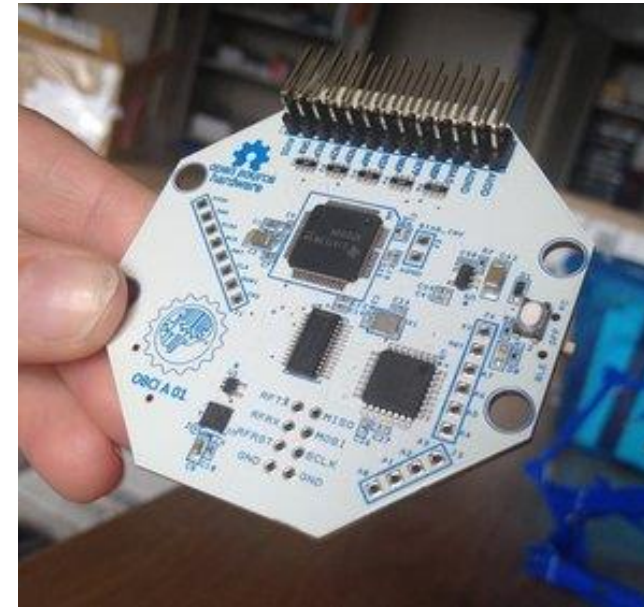
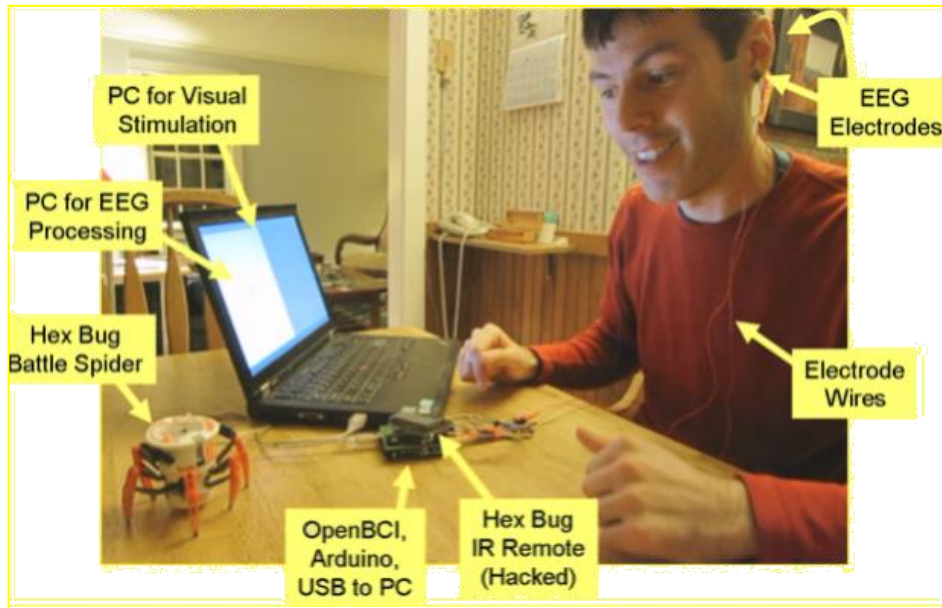
- **Σημαντική βελτίωση στην ποιότητα ζωής**
 - Άτομα που κατά κανόνα δεν μπορούσαν να επικοινωνήσουν καθόλου
 - Π.χ. εγκεφαλικό επεισόδιο ή τραύμα εγκεφαλικού στελέχους
- **Annals of Neurology - 2013**
 - Αναφέρθηκαν σε μελέτες που δείχνουν τη θετική επίδραση που μπορεί να έχει η αποκατάσταση με ΔΕΥ στη φυσιοθεραπεία
- **Πολλές επιλογές στο εμπόριο**
- **Παιγνίδια!!!**

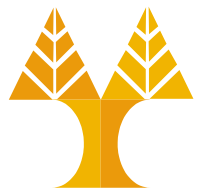




- **Building Mind-Controlled Gadgets Just Got Easier**

- A new brain-computer interface lets DIYers access their brain waves
- [Spectrum Link](#) (11-8-2014)

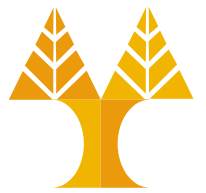




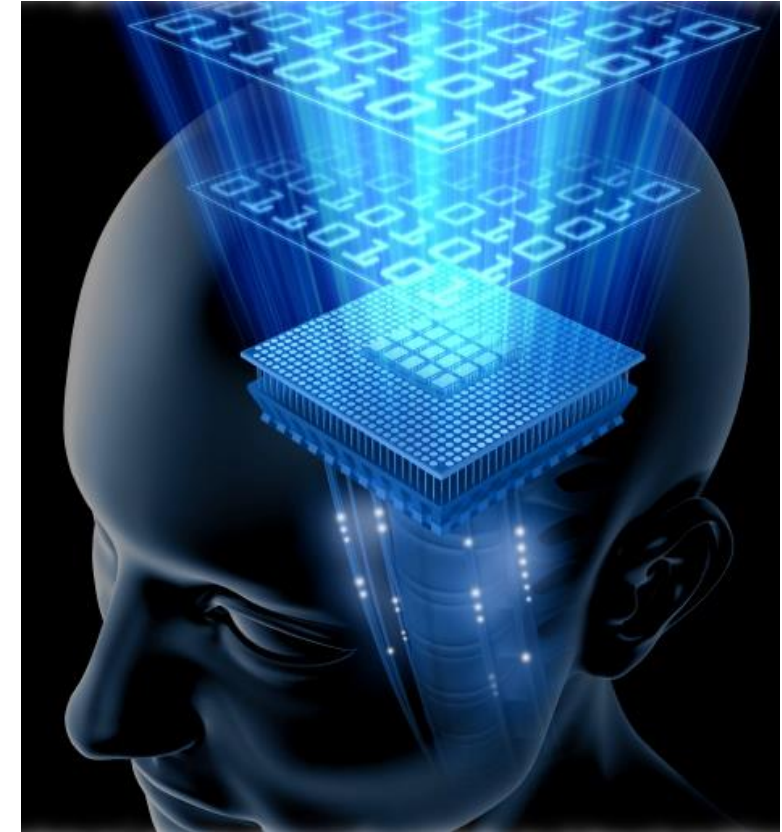
- Πώς μπορείς να πάρεις εν επιγνώσει συναίνεση για μια ΔΕΥ από κάποιον που δεν μπορεί να επικοινωνήσει;
 - Τα οφέλη υπερτερούν των κινδύνων;
- Τι θα συμβεί αν κάποιος θέλει να κρατήσει μια σκέψη μυστική και η ΔΕΥ την ανιχνεύει;
- Ποιο είναι το όριο για το τι θα κάνουμε με τις ΔΕΥ;
 - Θα μπορούσε κάποιος να χρησιμοποιούν ΔΕΥ για να ανακρίνουν άλλους;
- **Από κωδικούς πρόσβασης σε σκέψεις πρόσβασης**
 - Σύνδεση σε συσκευές με τη σκέψη
 - EEG από τον λοβό του αυτιού μετατρέπει τα κύματα του εγκεφάλου σε βιομετρικούς κωδικούς πρόσβασης.
 - [Spectrum Link](#) (31-8-2016)



Μελλοντικές Προκλήσεις ΔΕΥ



- Ο εγκέφαλος είναι απίστευτα πολύπλοκος
- Υπάρχουν χημικές διεργασίες που επίσης εμπλέκονται
- Το σήμα είναι ασθενές και επιρρεπές σε παρεμβολές
 - Το να καταγράφεις τα σήματα του εγκεφάλου είναι σαν να ακούς μια κακή τηλεφωνική σύνδεση
 - Υπάρχουν πολλά στατικά
- Ο εξοπλισμός δεν είναι πάντα φορητός



Μελλοντικές Προκλήσεις ΔΕΥ



- **“Είναι πάντα δύσκολο να κάνεις προβλέψεις, ειδικά για το μέλλον”**
 - “640 KB RAM θα είναι αρκετά για όλους στο μέλλον”
 - Bill Gates, 1981
 - “Οι υπολογιστές είναι ενδιαφέροντες αλλά η παγκόσμια αγορά θα περιορίζεται στο μέλλον σε 5 κομμάτια τον χρόνο”
 - Thomas Watson, IBM president, 1949
- **“Οι άνθρωποι δεν θα είναι διατεθειμένοι να φορούν ηλεκτρόδια στο κεφάλι κατά τη διάρκεια μια κανονικής μέρας”**
 - Chief of Research and Development of a mobile phone company

