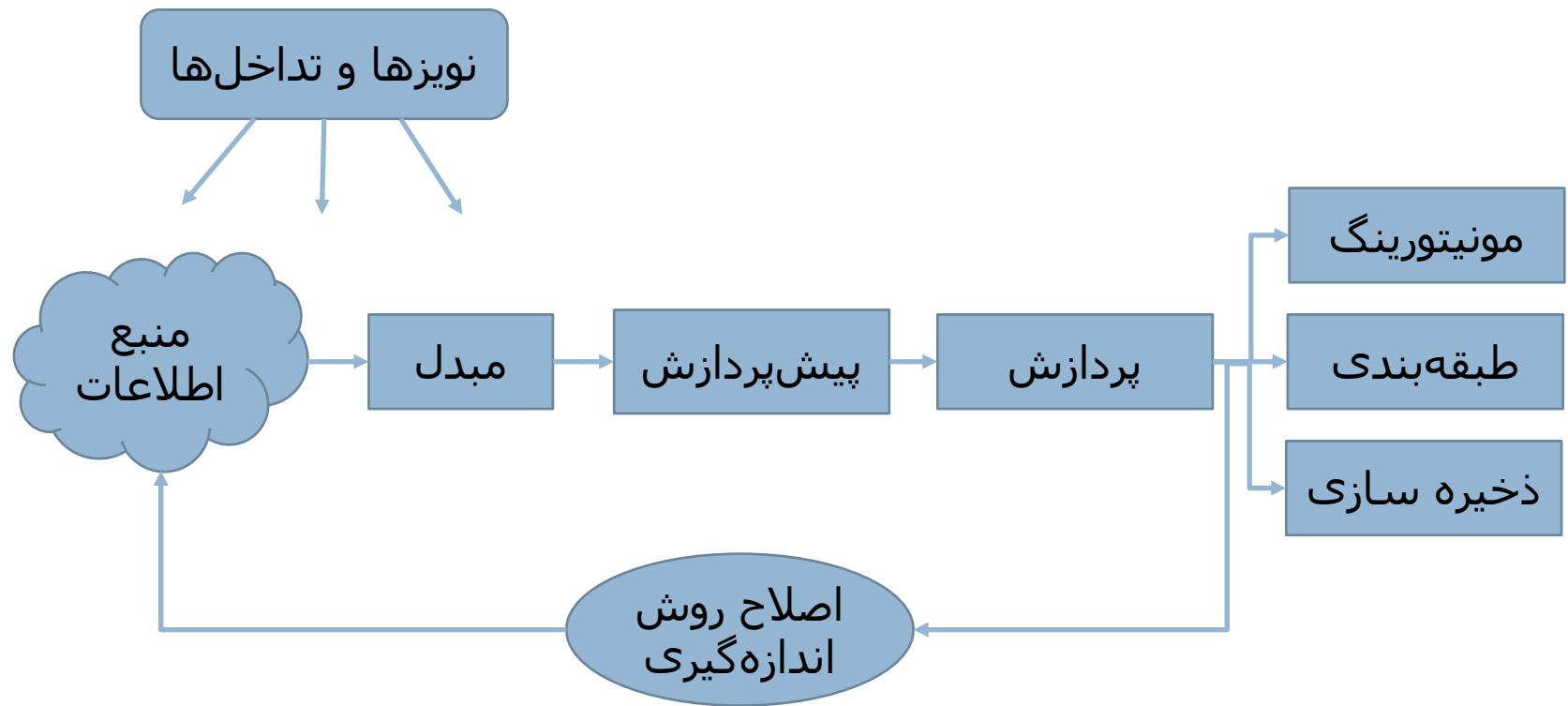
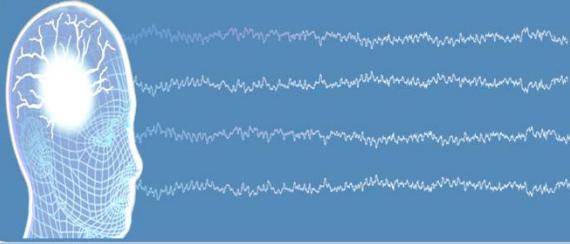




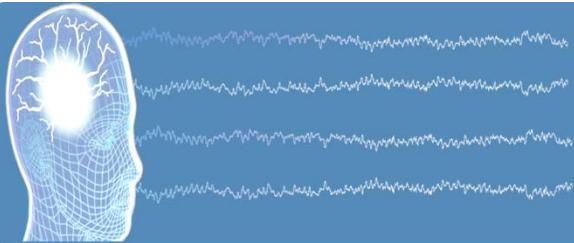
پیش‌پردازش سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام

شماره درس: ۲۵۶۳۰
یکشنبه و سه‌شنبه ۱۵:۳۰-۱۳:۳۰
نیمسال اول ۱۴۰۱-۱۴۰۰

پردازش سیگنال



آرتیفکت‌های EEG



حذف نویز و آرتیفکت
استخراج سیگنال مطلوب

○ فیزیولوژیک

○ نویز ماهیچه (EMG)

○ ECG

○ حرکات چشم

○ پلک زدن

○ عرق پوست سر

○ غیرفیزیولوژیک

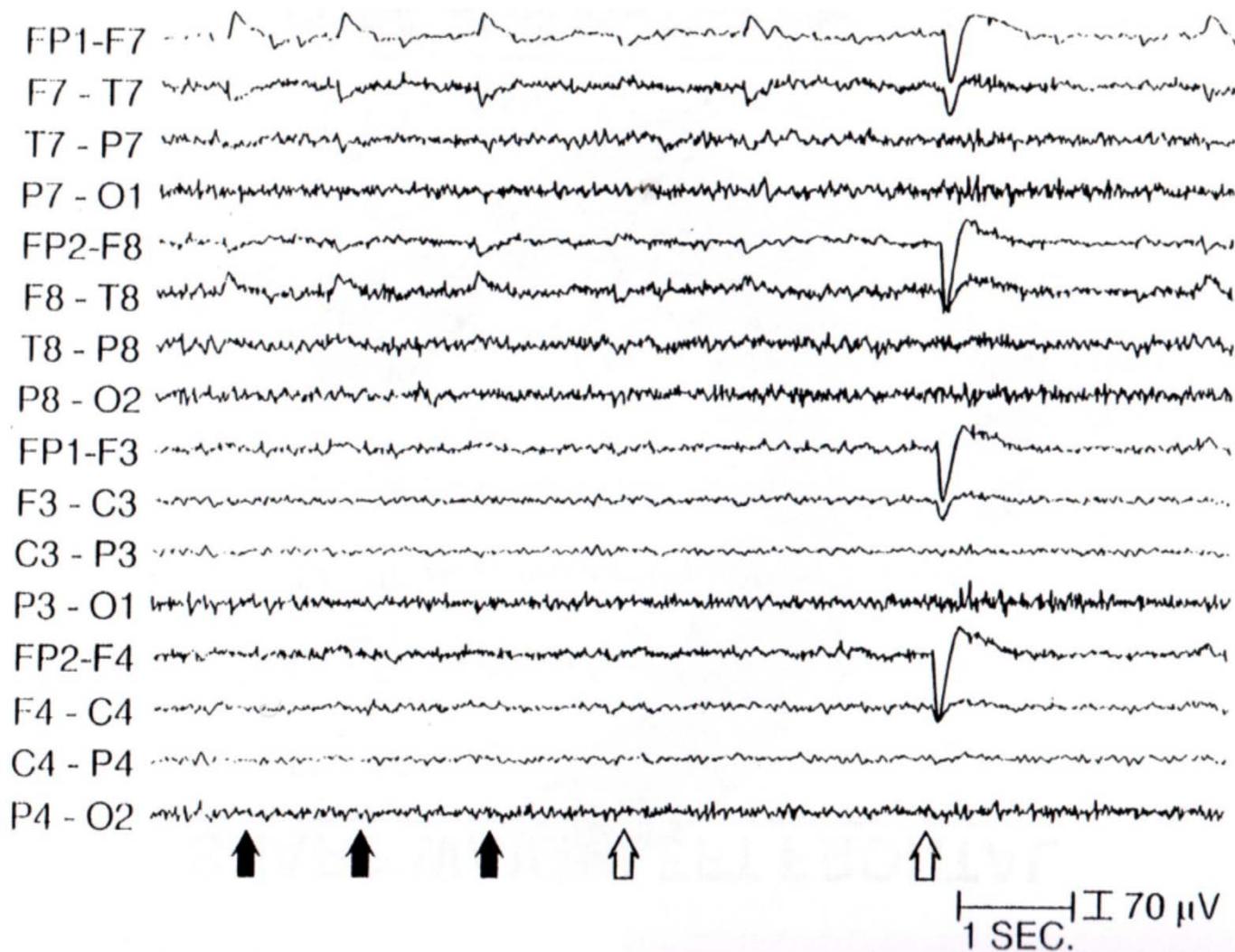
○ برق شهر

○ حرکت الکترودها و رسانایی ضعیف آنها

آرتیفکت‌های EEG



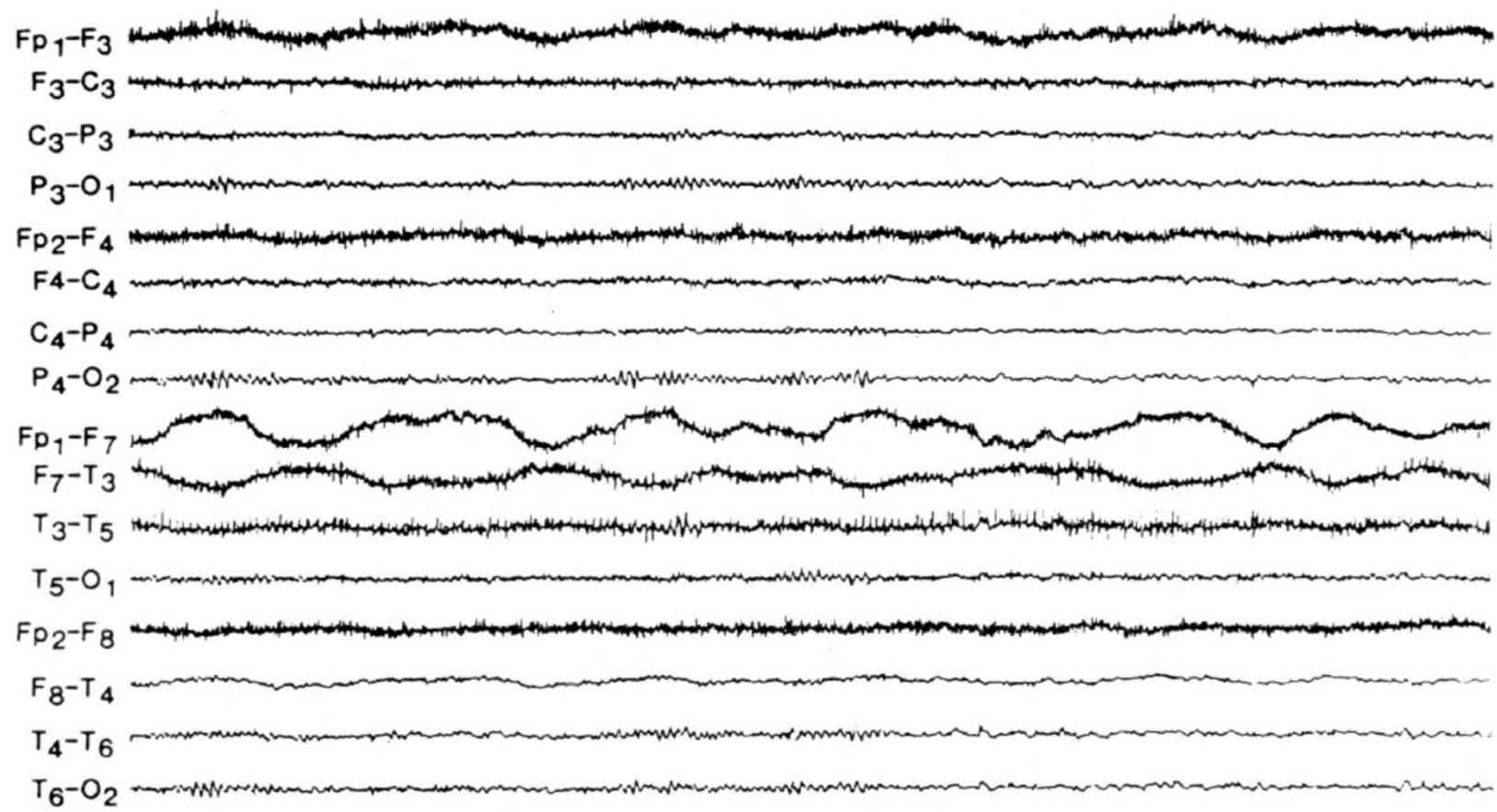
حرکات چشم



آرتیفکت‌های EEG



حرکات چشم

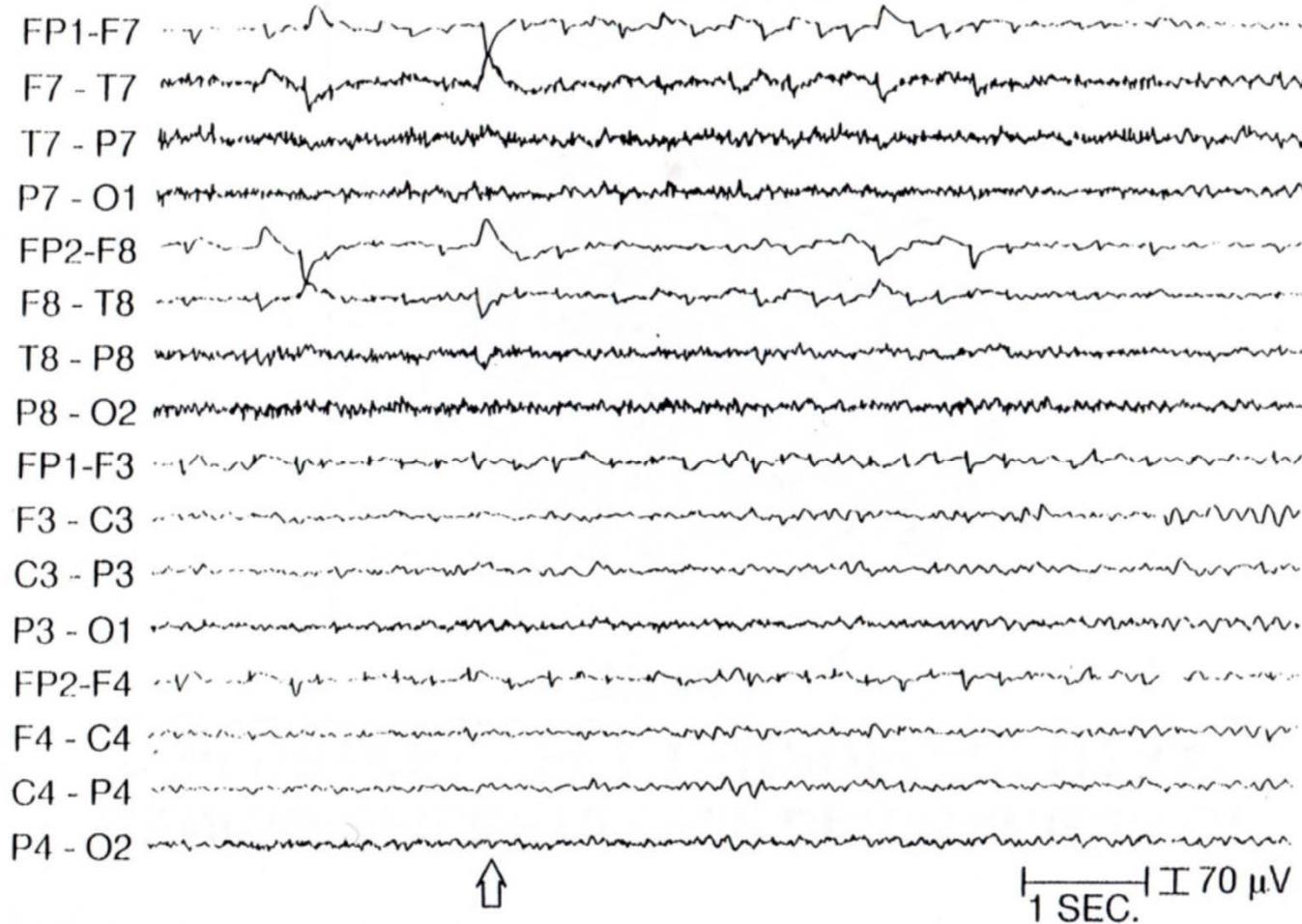


50 μ V
1 sec

آرتیفکت‌های EEG



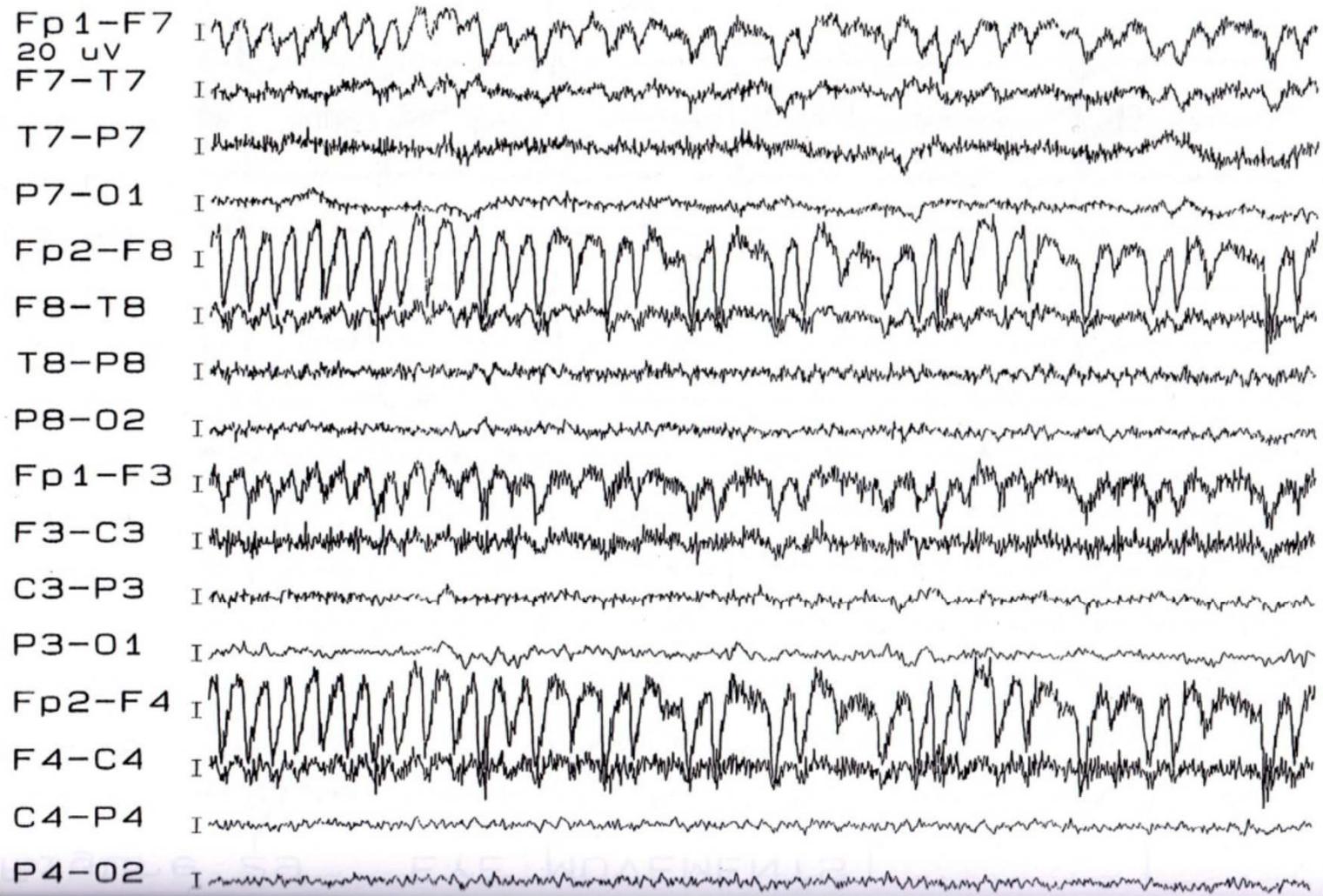
حرکات چشم



آرتیفکت‌های EEG

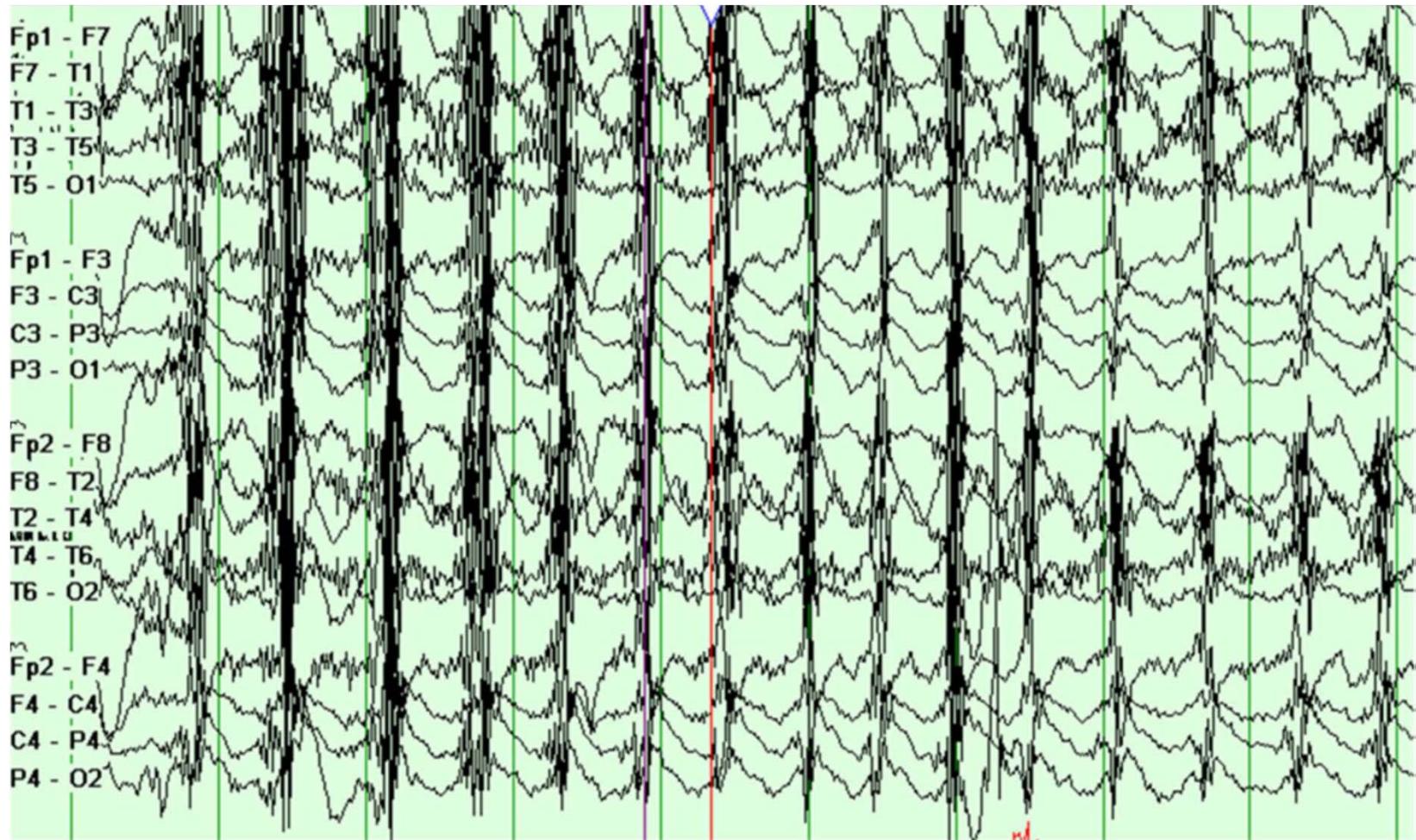


پرش پلک



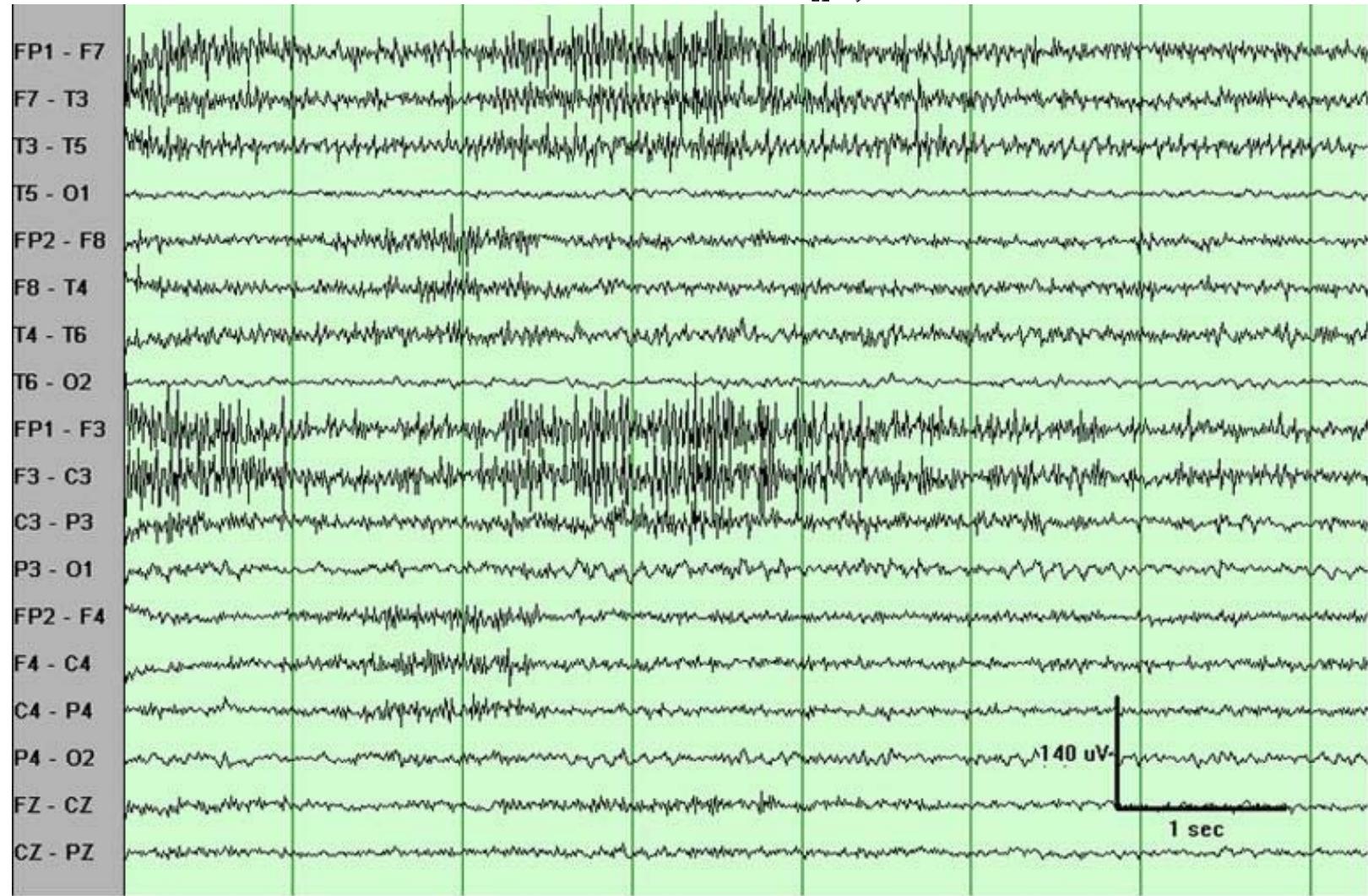
آرتیفکت‌های EEG

جویدن



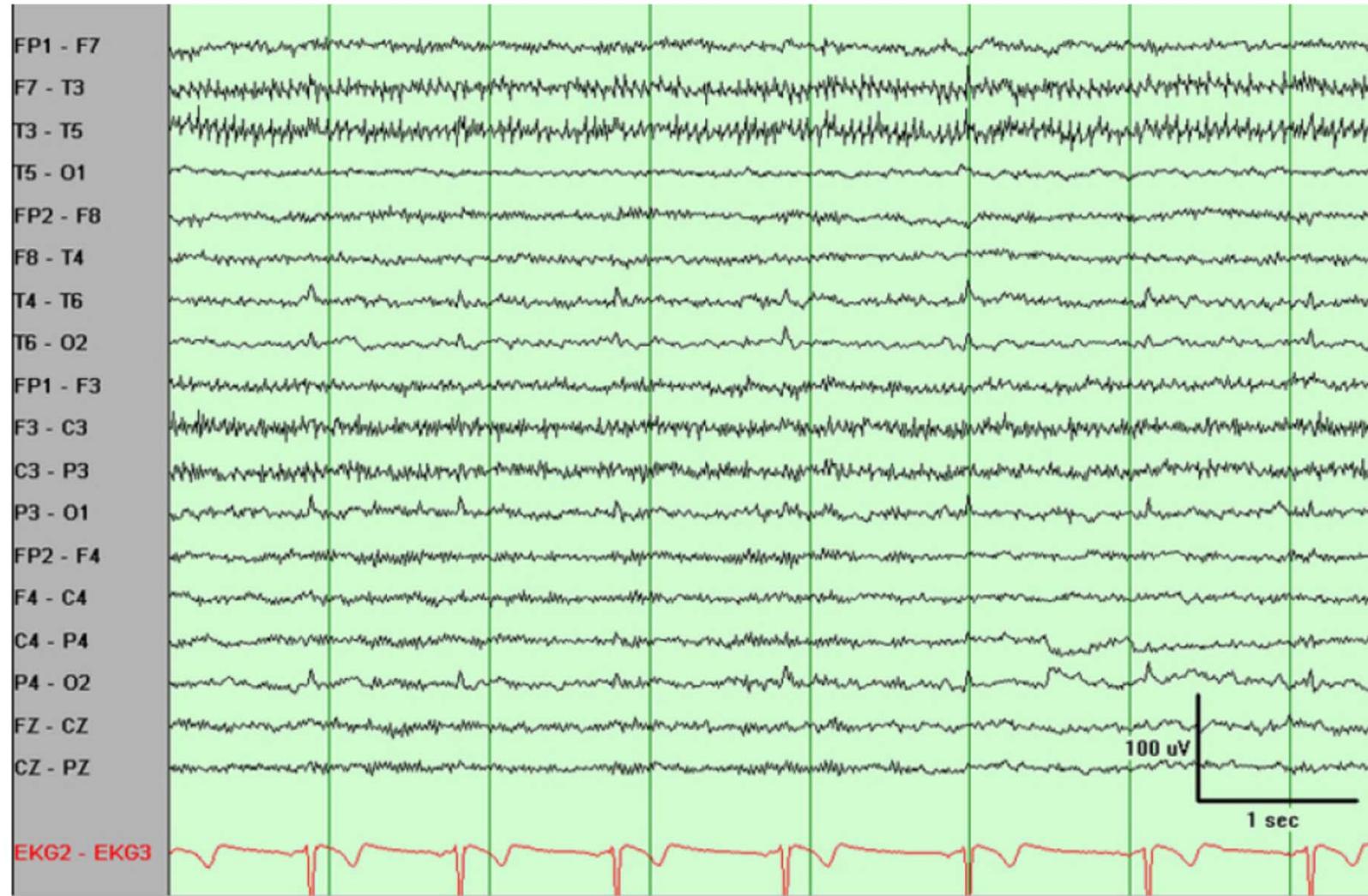
آرتیفکت‌های EEG

آرتیفکت EMG



آرتیفکت‌های EEG

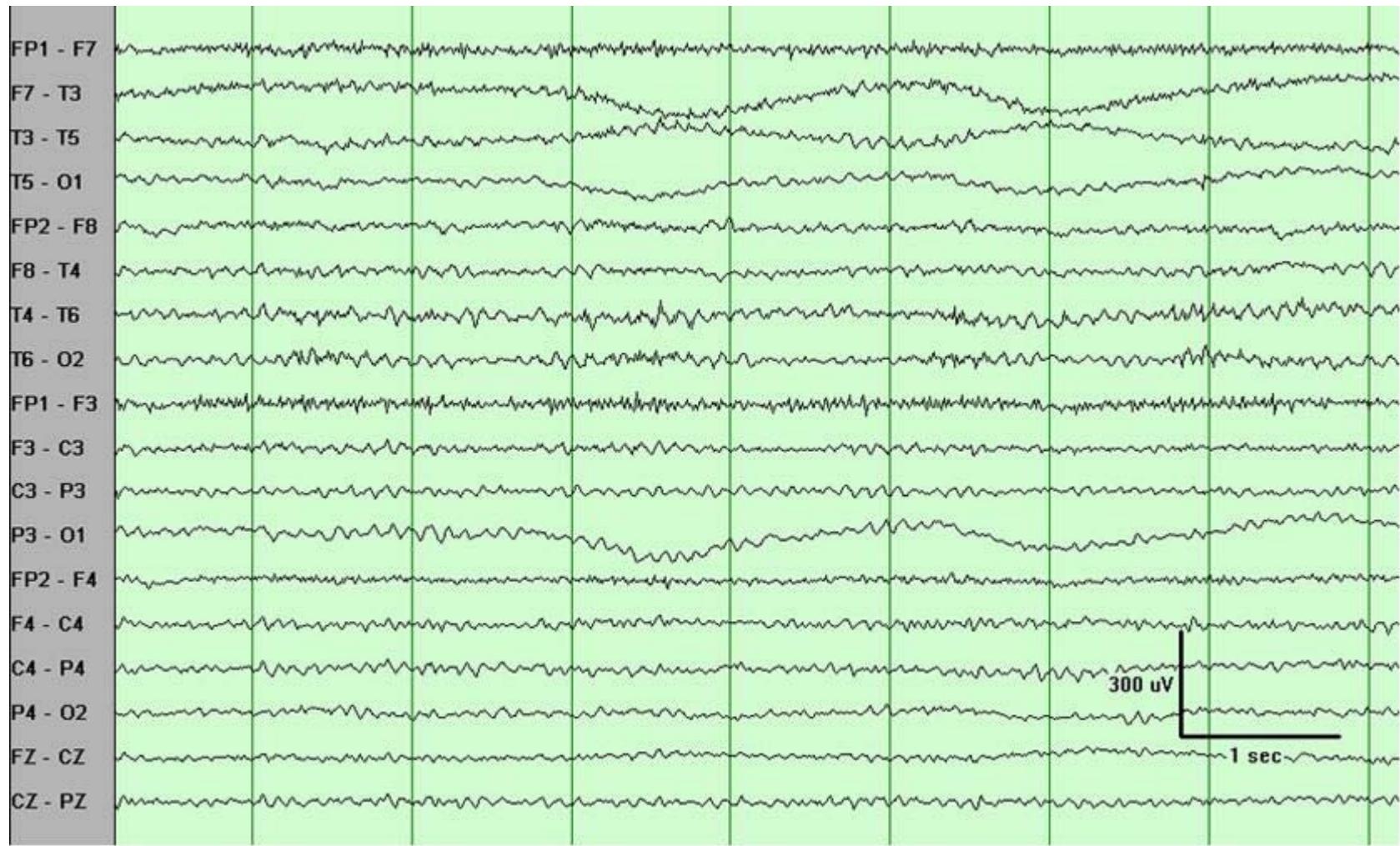
آرتیفکت EMG



آرتیفکت‌های EEG



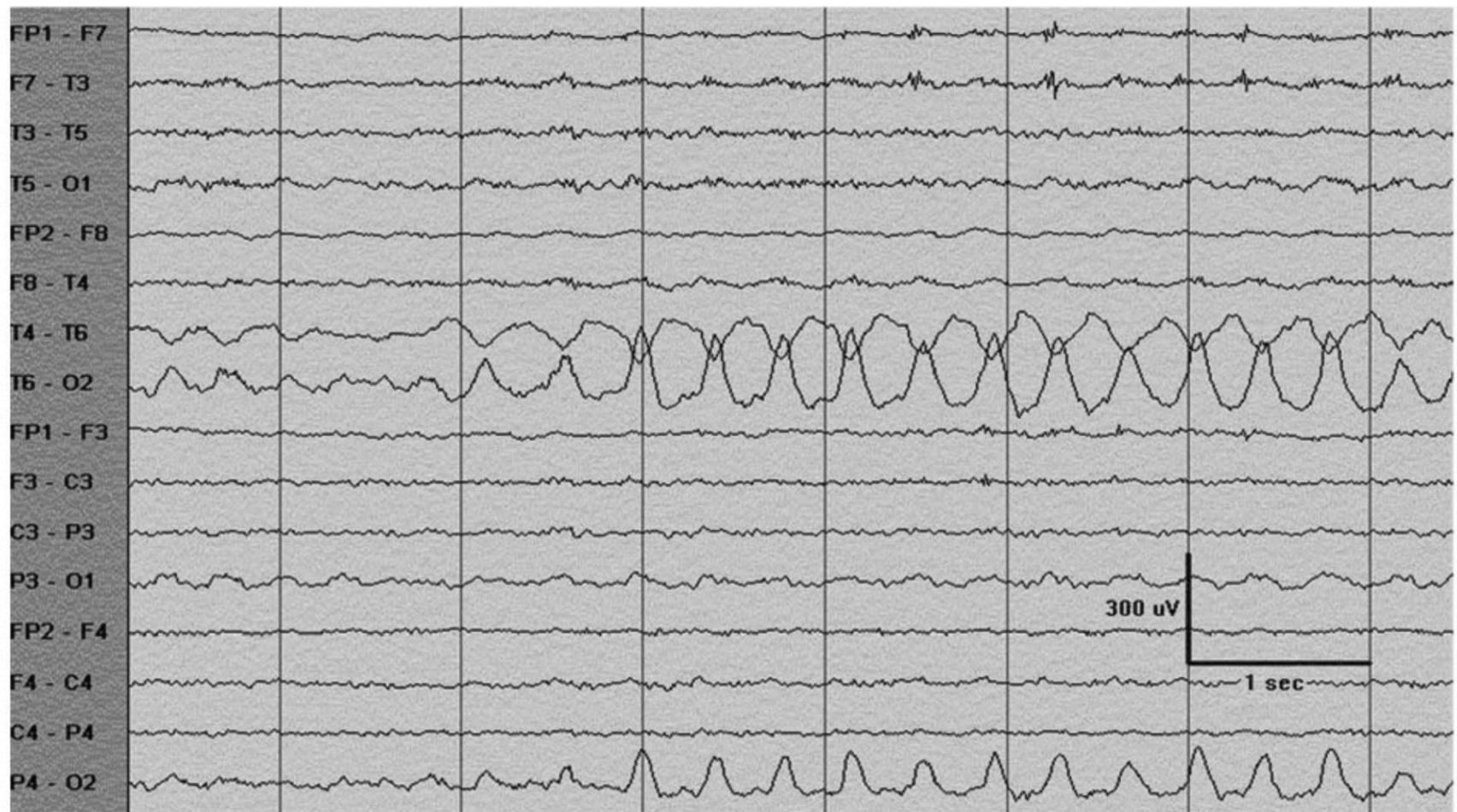
عرق پوست سر



آرتیفکت‌های EEG

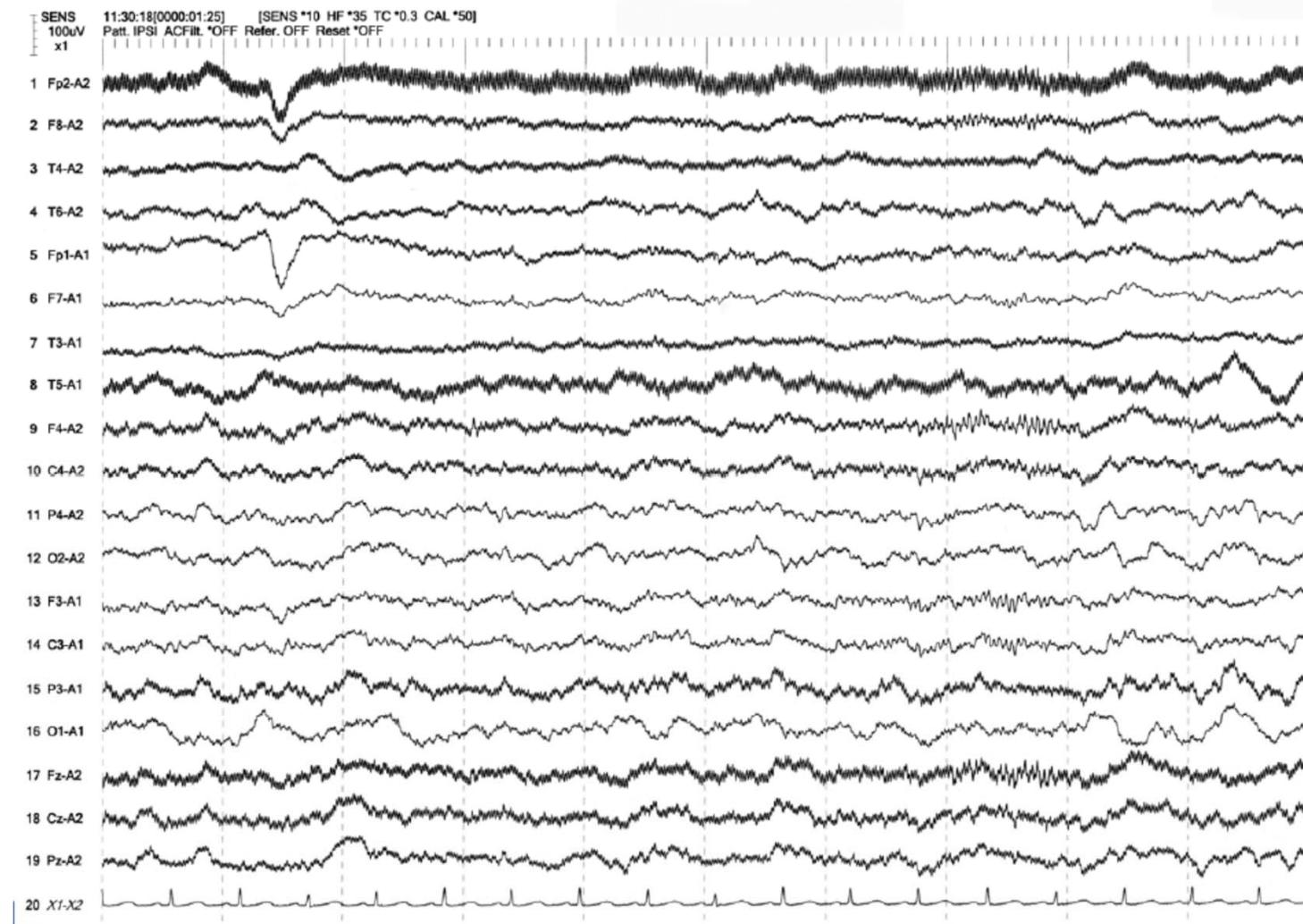


حرکت سر



آرتیفکت‌های EEG

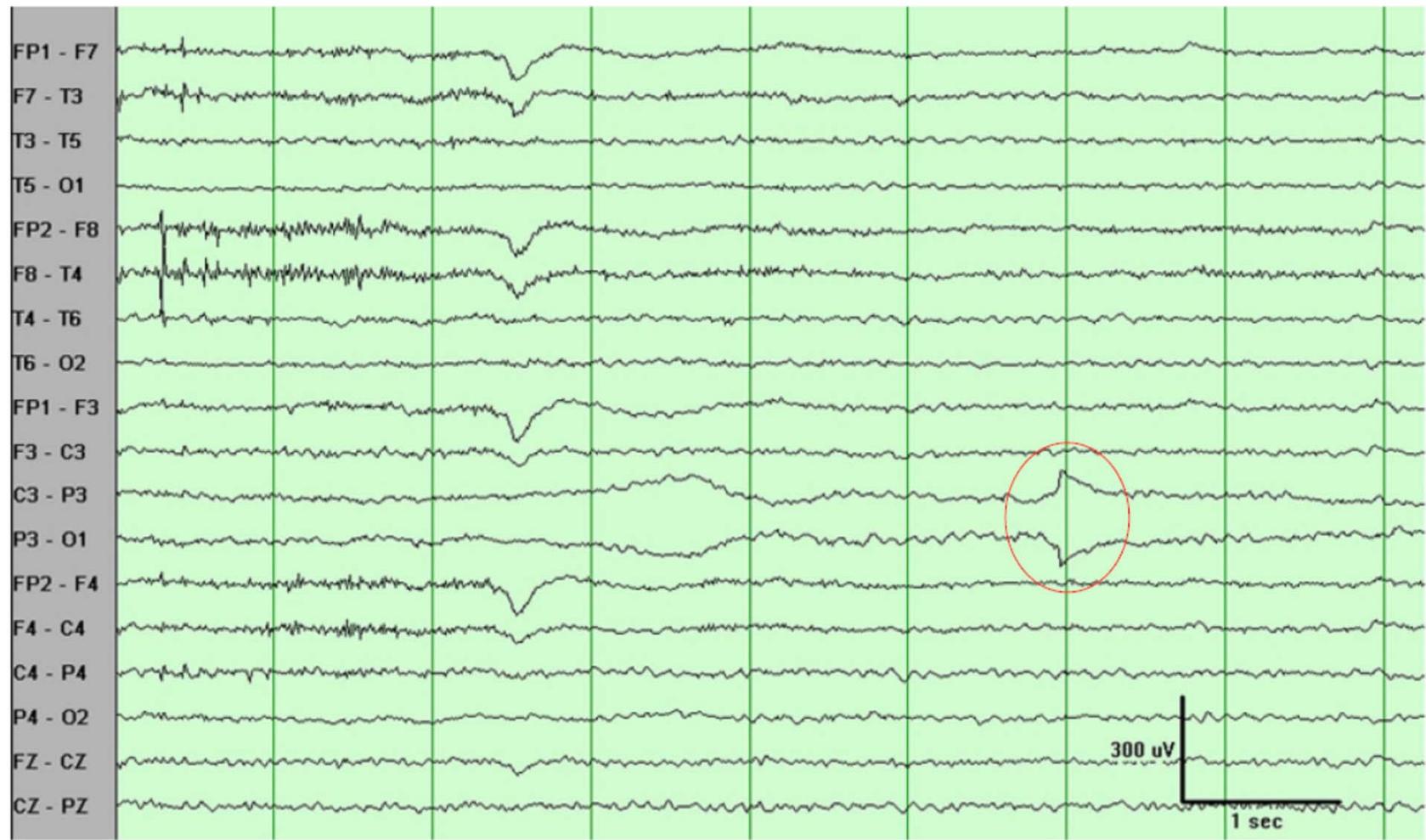
برق شهر

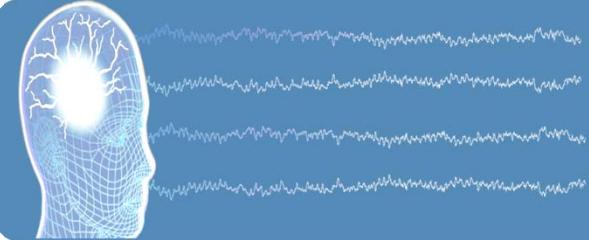


آرٹیفیکت‌های EEG



حدکت الکترود

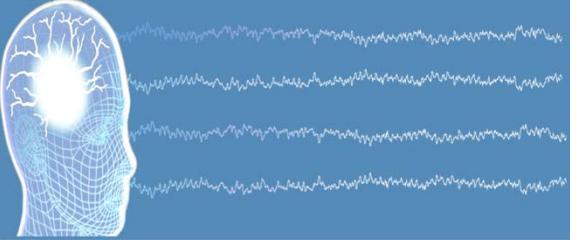




پیش‌پردازش

- پیش‌پردازش: همه مراحل پردازشی پس از ثبت داده و قبل از اعمال پردازش‌های اصلی (در حوزه زمان و فرکانس و ...)
- ارائه یک دستورالعمل استاندارد برای مراحل مختلف پیش‌پردازش عملی مشکل و در حالت کلی، غیرممکن است:
- پیش‌پردازش‌های لازم بسیار به نوع وظیفه (task) انجام شده و هدف آزمایش بستگی دارند.
- نحوه ثبت داده و آزمایشگاه ثبت‌کننده تاثیرگذارند.
- نمی‌توان یک دستورالعمل استاندارد ارائه داد، اما می‌توان تا حدی نحوه فکر کردن در مورد مراحل کار و نکاتی را که باید به آنها توجه کنیم، سازماندهی کرد.

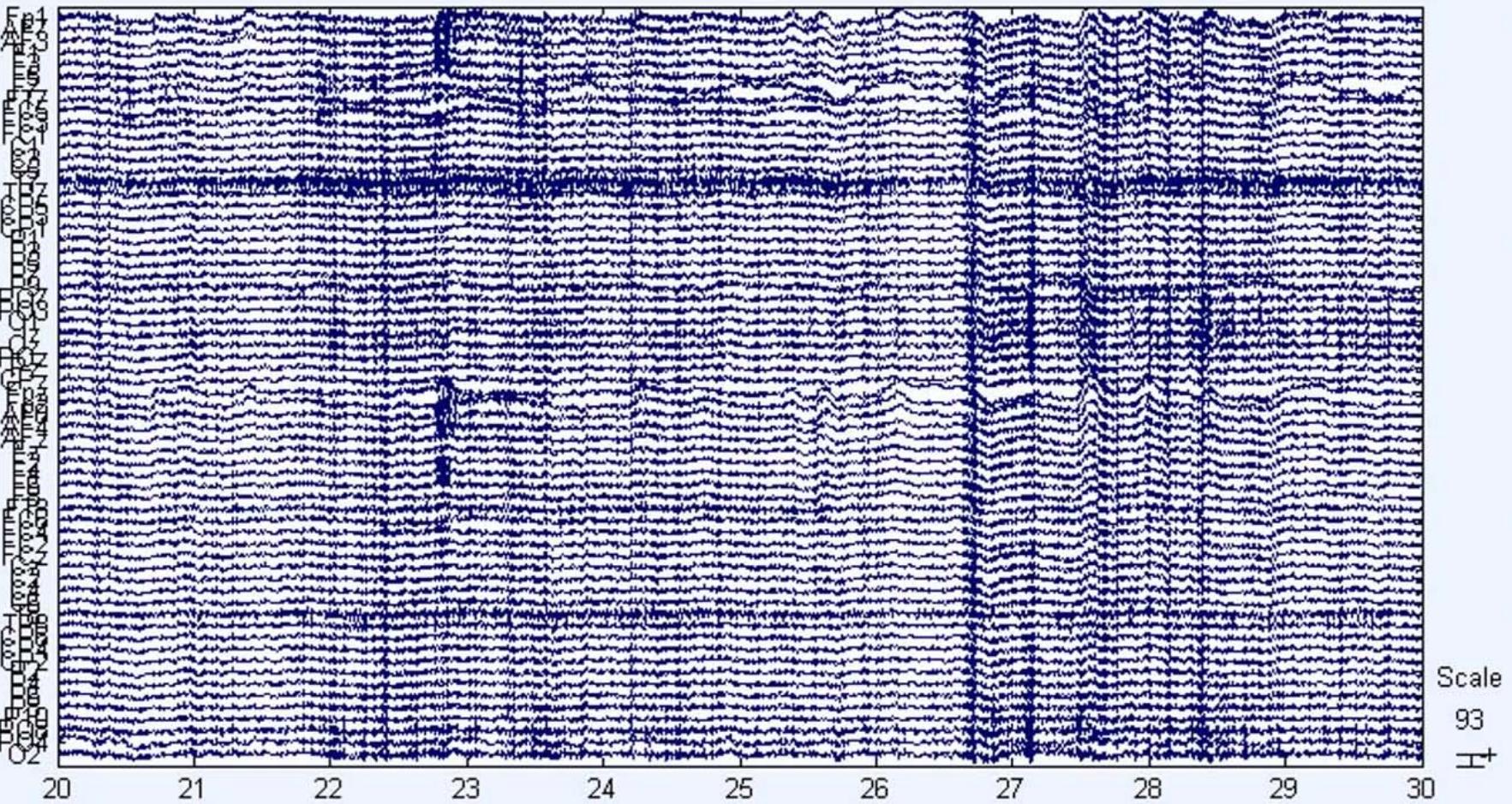
Data analysis lecturelets by Mike X Cohen,
<http://mikexcohen.com/lectures.html>

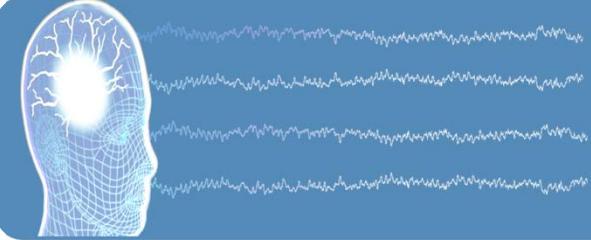


مراحل پیش‌پردازش

۱. وارد کردن داده به محیط پردازش (مانند: MATLAB)
۲. رسم سیگنال در حوزه زمان برای تمام کانال‌های ثبت شده با مشخص کردن برچسب کانال و مقیاس زمانی صحیح
 - آیا سیگنال مورد بررسی EEG است؟ خصوصیات سیگنال EEG را دارد؟
 - آیا داده به صورت کامل خراب است؟
 - آیا کانال‌هایی وجود دارند که داده آنها آسیب دیده باشد؟ (کانال با ولتاژ تقریباً صفر در تمام لحظات یا کانال با نویز ماهیچه یا آرتیفیکت حرکتی در تمامی لحظات)
 - آیا با حذف تعدادی کانال محدود می‌توان پردازش‌ها را ادامه داد؟
 - نکته مهم: در تمام مراحل پیش‌پردازش و احتمالاً پردازش، نتیجه تغییرات در حوزه زمان (و یا فرکانس) را مرحله به مرحله رسم کنید و با نتیجه مورد انتظار مقایسه کنید.

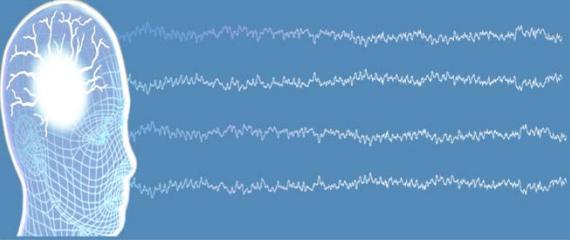
مراحل پیش‌پردازش





مراحل پیش‌پردازش

۳. مرجعدهی مجدد (Re-referencing)
 - بهترین: earlobes، mastoids یا میانگین
 - قابل قبول: vertex و nose
 - ضعیف: Unilateral
- این نکته که به اطلاعات کدام بخش از مغز نیاز داریم در انتخاب مرجع تأثیرگذار است.
- مرجع نباید نویزی باشد یا اینکه در نزدیکی بخش شامل اطلاعات موردنظر باشد.
- در تبدیل مرجع به میانگین، می‌توانیم ابتدا کanal‌های بد را حذف کنیم و بعد میانگین گیری کنیم.



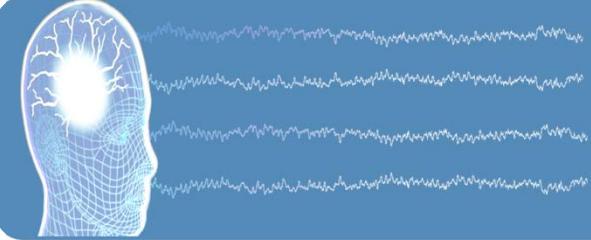
مراحل پیش‌پردازش

۴. فیلتر کردن داده‌ها

- استفاده از فیلتر بالاگذر ($5\text{-}0$ هرتز) برای حذف تغییرات آهسته (slow drift) و مولفه DC سیگنال
- نکته: فیلتر بالاگذر را روی سیگنال پیوسته اولیه (قبل از جدا کردن epoch‌ها) اعمال می‌کنیم.
- استفاده از فیلتر notch $5\text{-}5$ هرتز برای حذف نویز برق شهر

۵. مشخص کردن یا جداسازی epoch‌ها

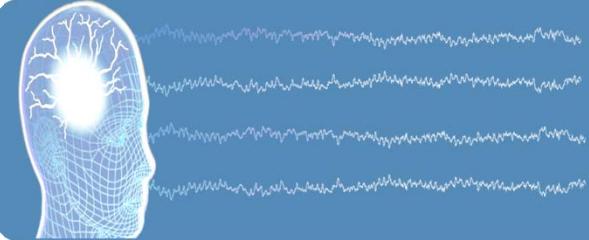
- ممکن است جداسازی epoch‌ها بر اساس زمان اعمال تحریک‌های خارجی انجام شود و یا اینکه بر اساس هدف مسئله در مورد epoch‌ها تصمیم بگیریم.
- هر epoch بایستی شامل حداقل ۳ دوره تناب از کمترین فرکانس مورد بررسی باشد.
- بهتر است حداقل یک ثانیه قبل و بعد از بازه مطلوب را در نظر بگیریم.



مراحل پیش‌پردازش

۶. تصحیح خط مبنا

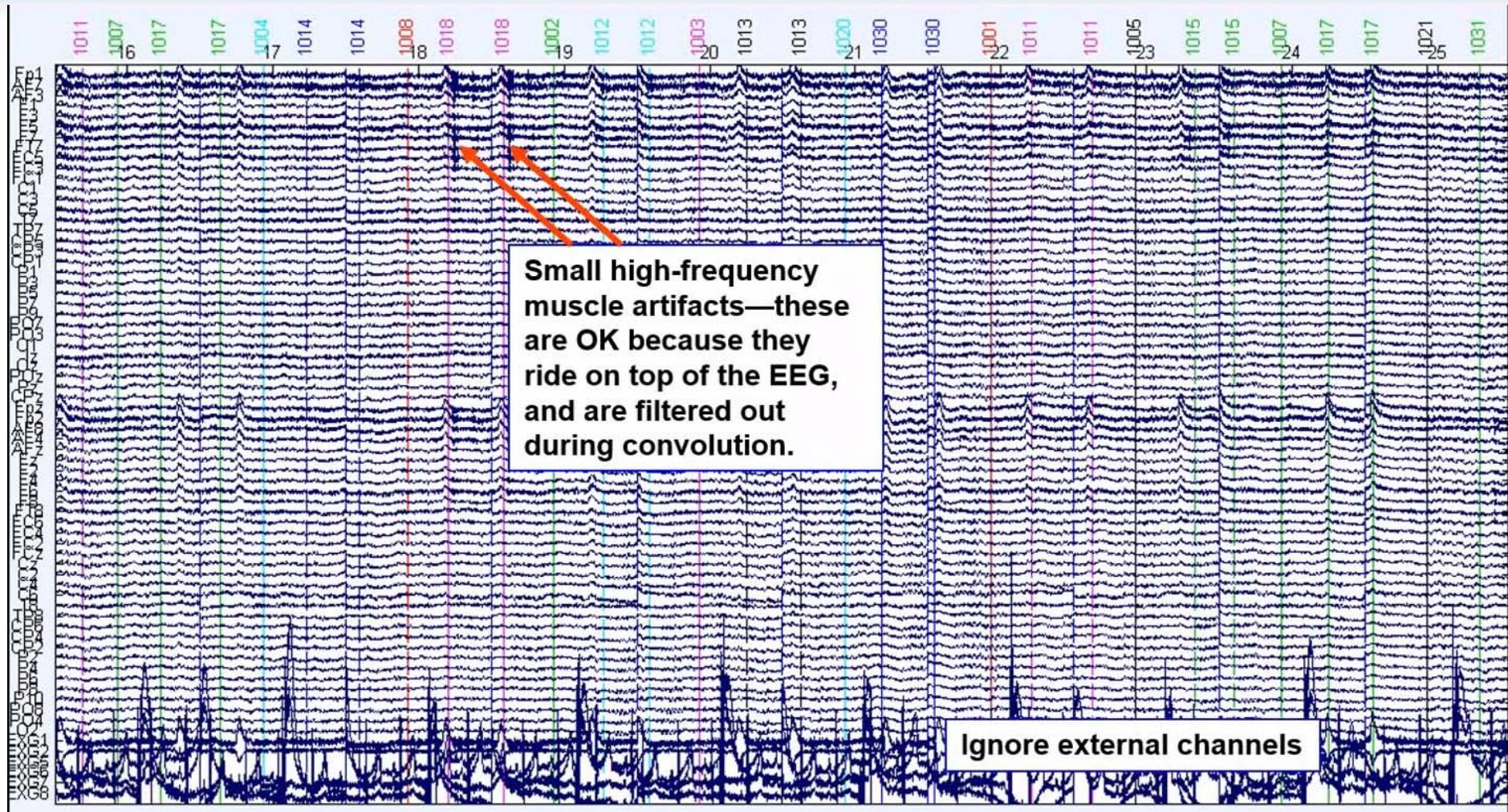
- حذف میانگین بر حسب ۰۰۰- تا صفر میلی‌ثانیه قبل از تحریک
- مناسب برای پردازش‌های ICA، ERP و رسم نقشه توپوگرافیک
- بسیاری از مراحل پیش‌پردازش به هدف آزمایش و وظیفه مورد بررسی ارتباط دارد.



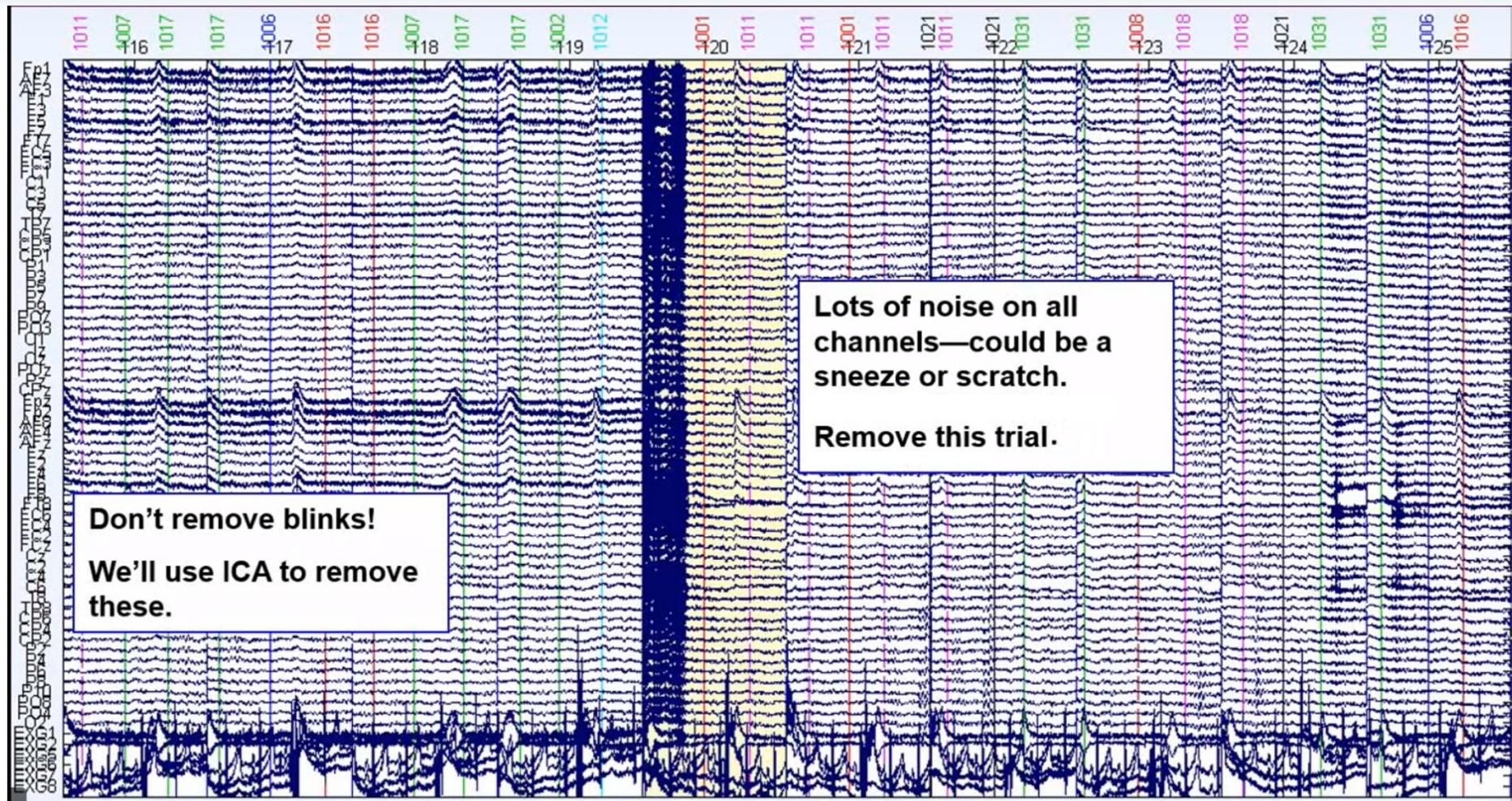
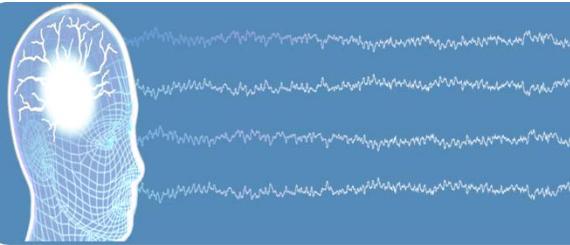
پیش‌پردازش

- حذف یا رد آزمایش (Trial Rejection)
- دستی یا خودکار؟
- روش‌های خودکار:
- فرآیند کاملاً مشخص است، قابل تکرار بوده و به شخص وابسته نیست.
- ممکن است برخی آزمایش‌هایی که درست هستند، به اشتباه حذف شوند و برخی آزمایش‌های غیرصحیح، باقی بمانند.
- بهتر است فرآیند trial rejection به صورت دستی انجام شود.
- ایده کلی برای حذف آزمایش‌ها:
 - آیا آرتیفکت یا نویز را می‌توان با روش‌هایی مانند ICA حذف کرد؟
 - آیا آرتیفکت به گونه‌ای است که در وظیفه مورد بررسی خللی وارد کرده است؟
 - چه تعداد trial در اختیار داریم؟ آیا می‌توانیم تعداد زیادی از آنها را حذف کنیم؟

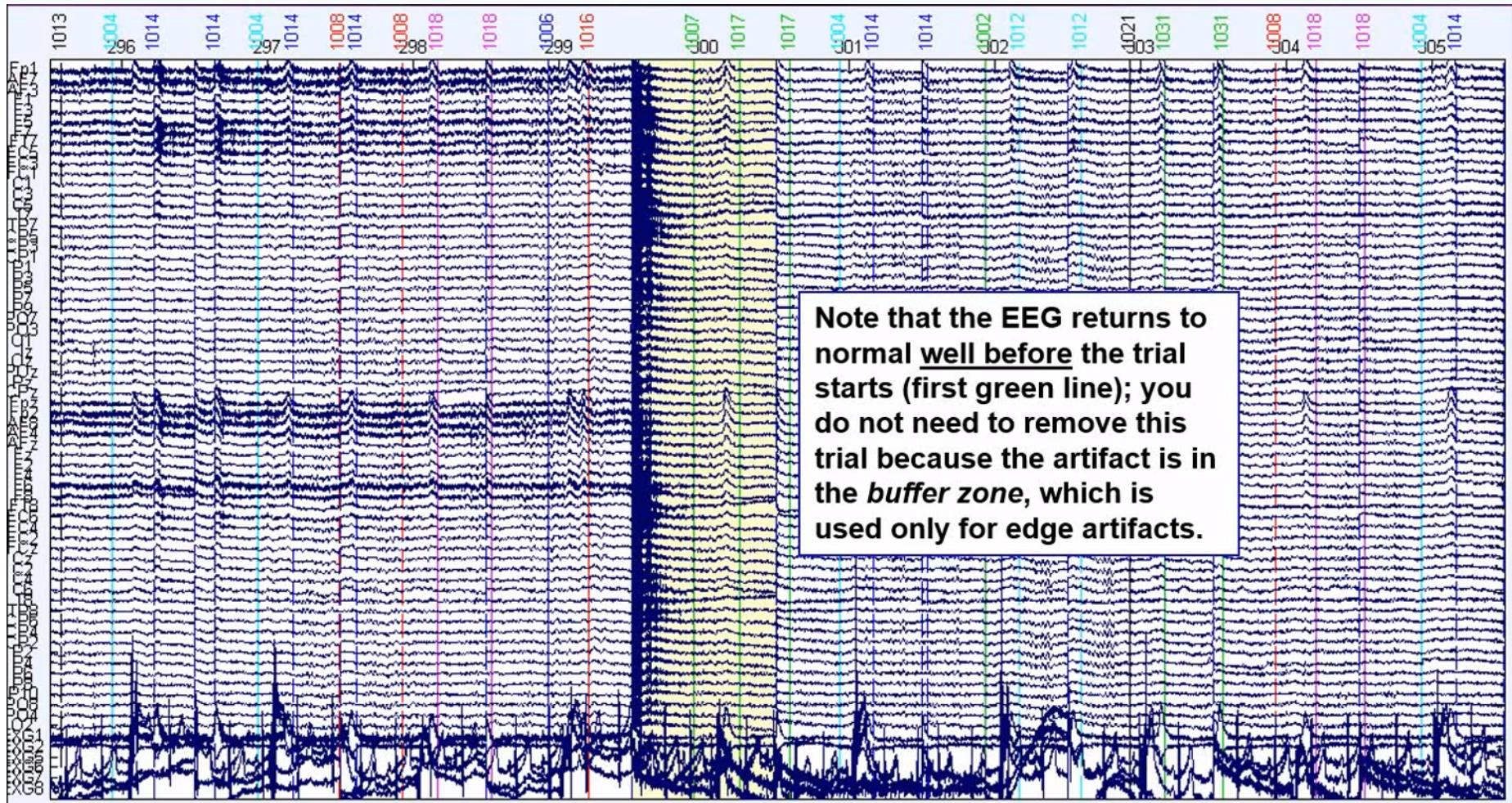
حذف آزمایش



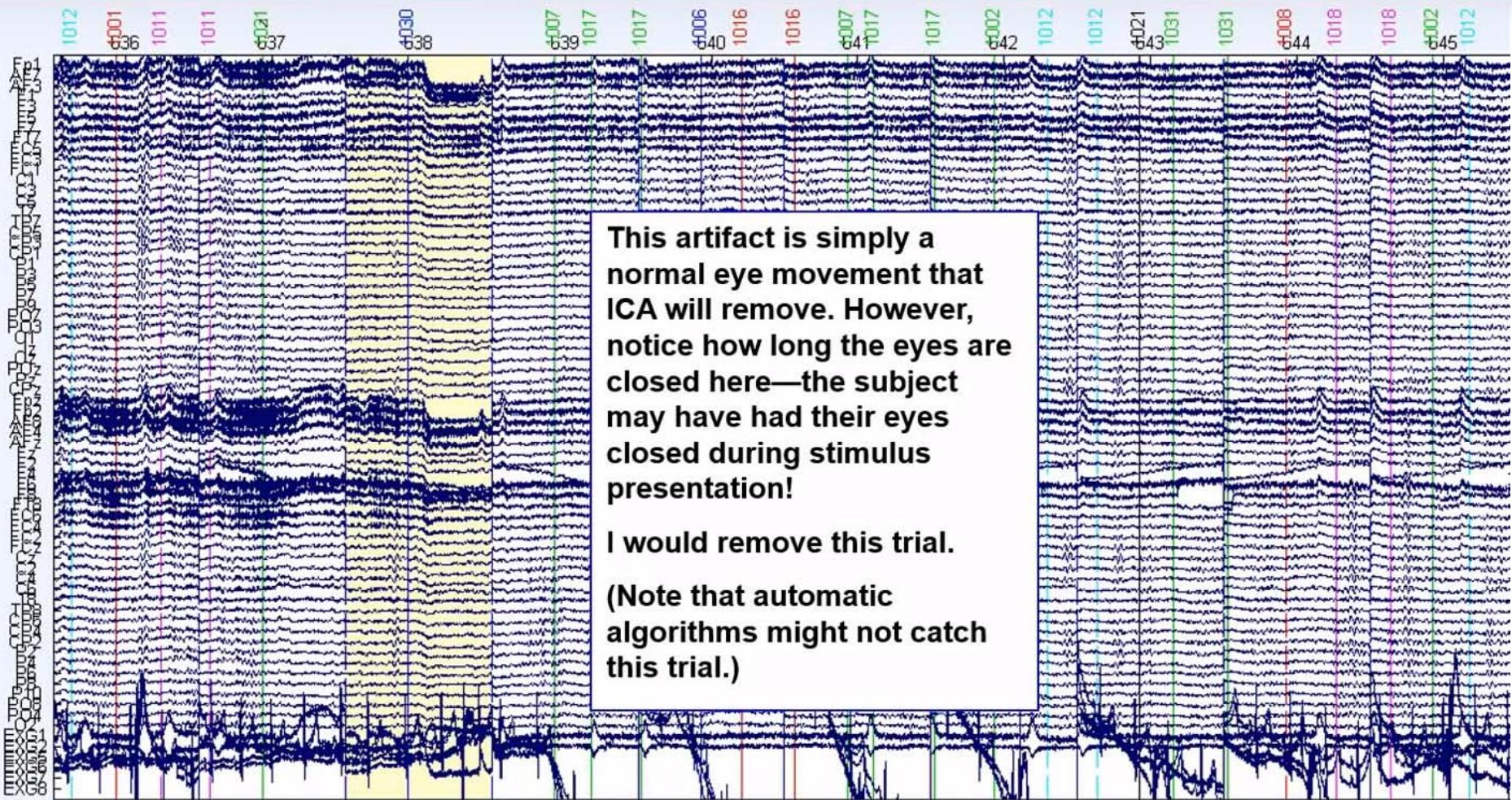
حذف آزمایش



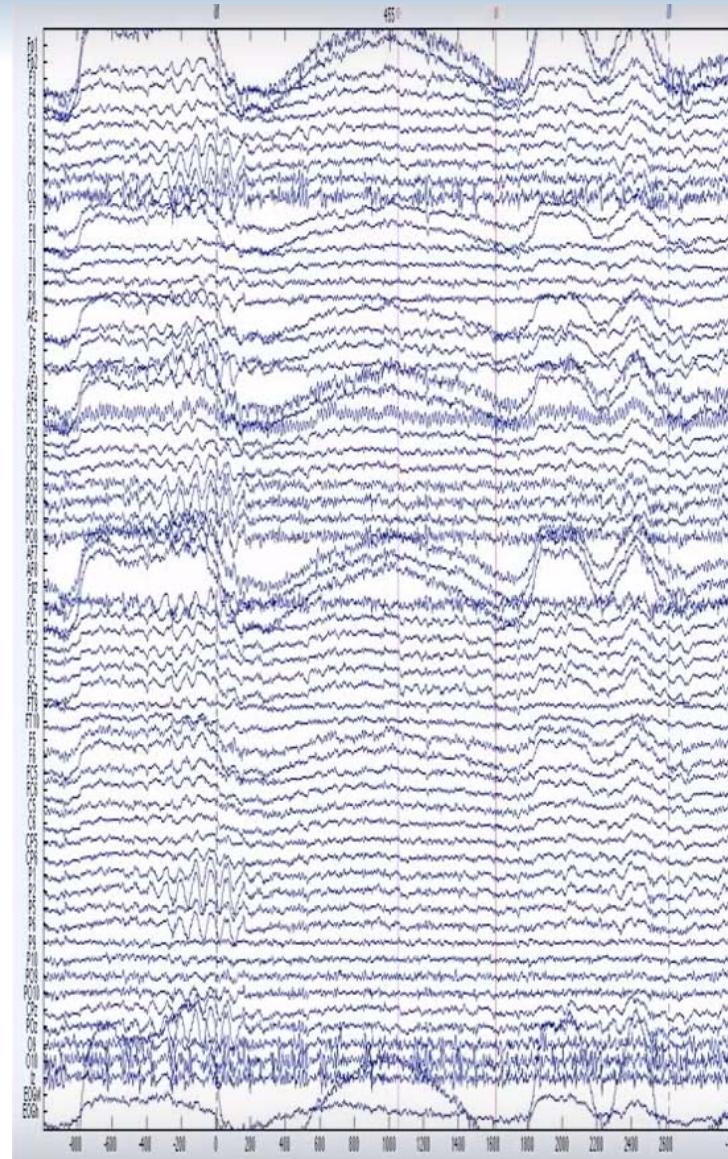
حذف آزمایش



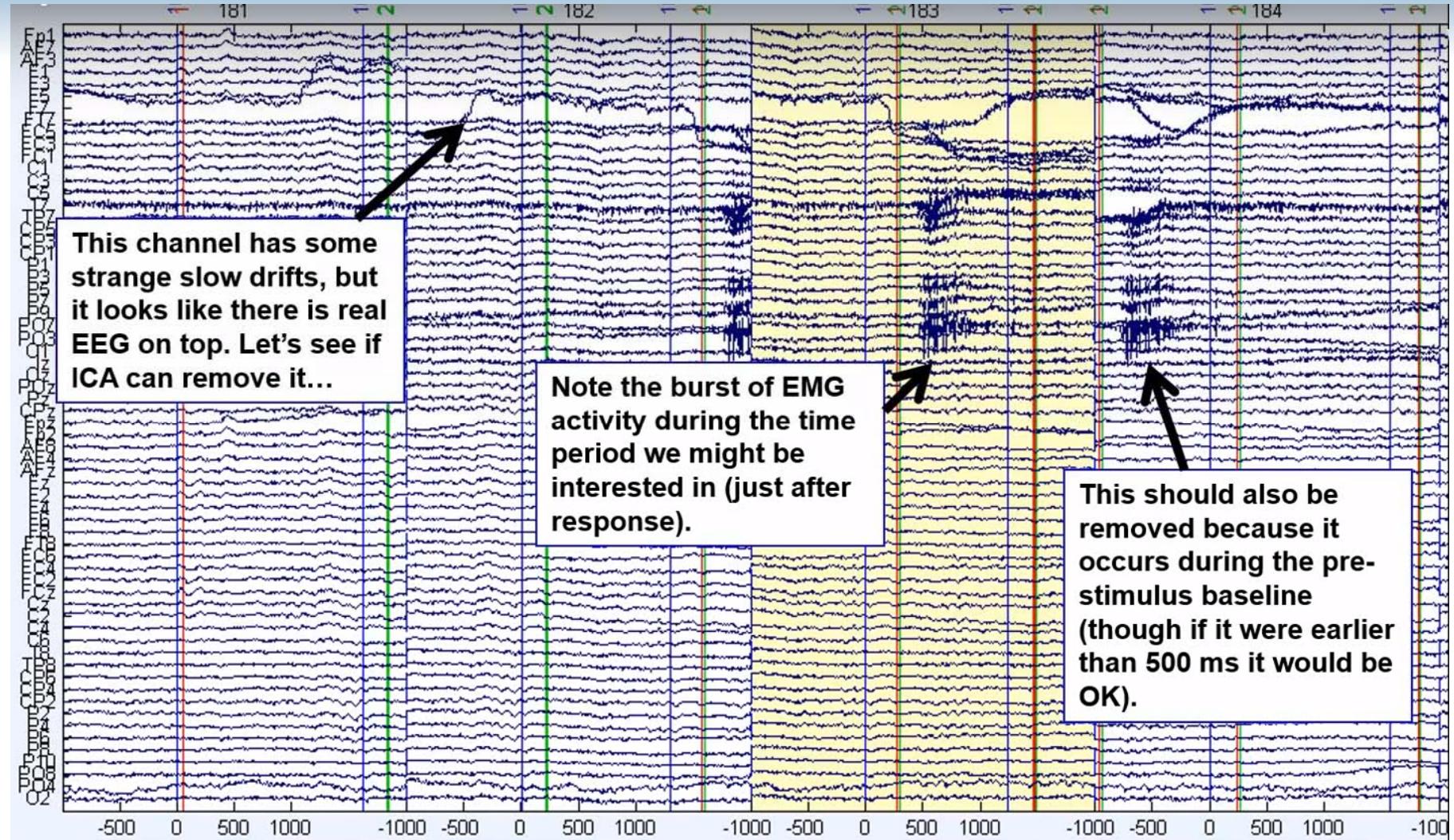
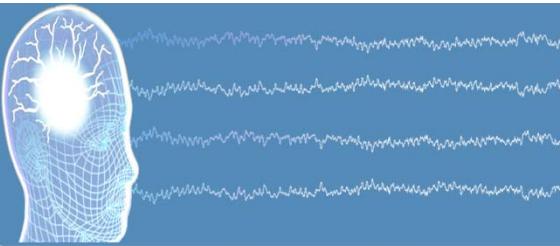
حذف آزمایش



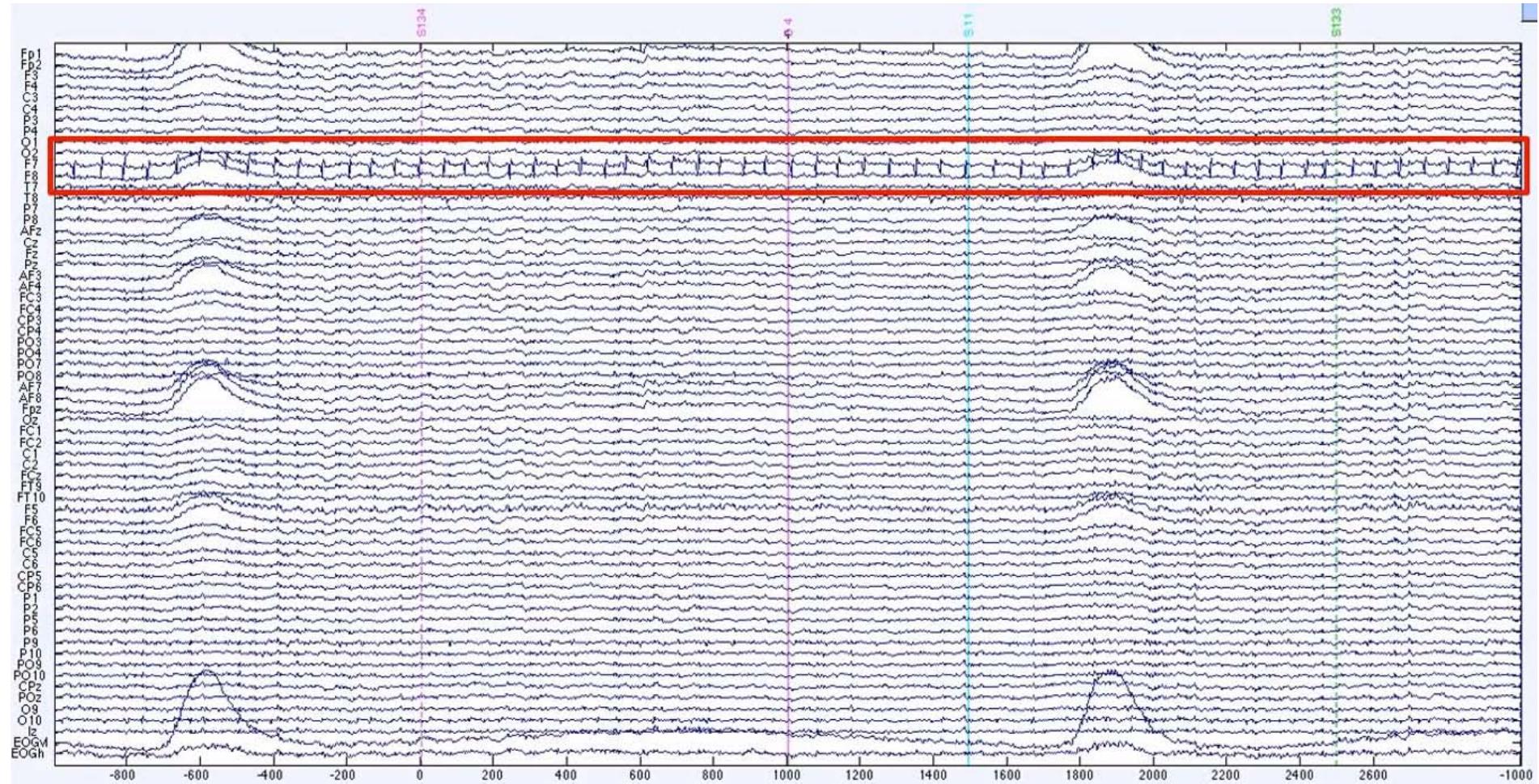
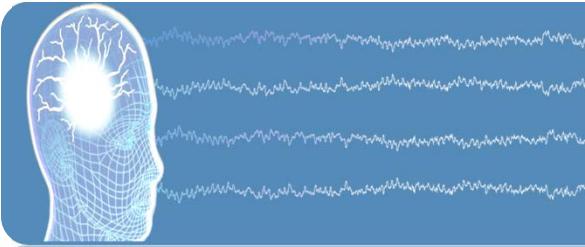
حذف آزمایش



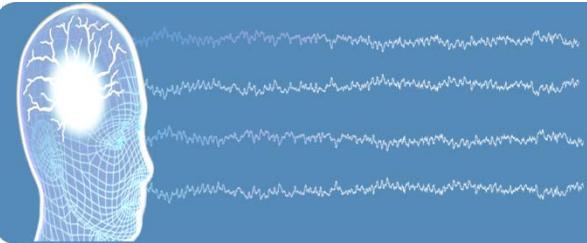
حذف آزمایش



حذف آزمایش



استخراج زیرفضای سیگنال: فرمولاسیون ریاضی مسئله



$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}_s(t) + \mathbf{x}_n(t)$$

N-dimensional observations Desired signal Undesired signal

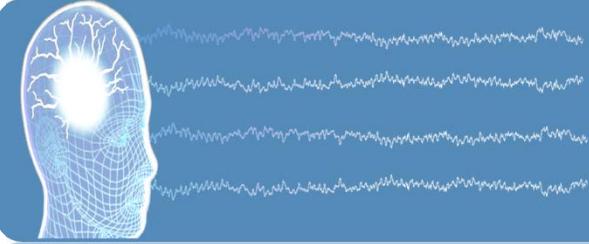
$$\begin{aligned} \mathbf{x}(t) &= \mathbf{A}\mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t) = [\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_P] \begin{bmatrix} s_1(t) \\ s_2(t) \\ \vdots \\ s_P(t) \end{bmatrix} + \mathbf{n}(t) \\ &= \underbrace{s_1(t)\mathbf{a}_1 + \dots + s_M(t)\mathbf{a}_M}_{\mathbf{x}_s(t)} + \underbrace{s_{M+1}(t)\mathbf{a}_{M+1} + \dots + s_P(t)\mathbf{a}_P}_{\mathbf{x}_n(t)} + \mathbf{n}(t) \end{aligned}$$

$$\mathbf{A} \in \Re^{N \times P}$$

$$\mathbf{s}(t) \in \Re^P$$

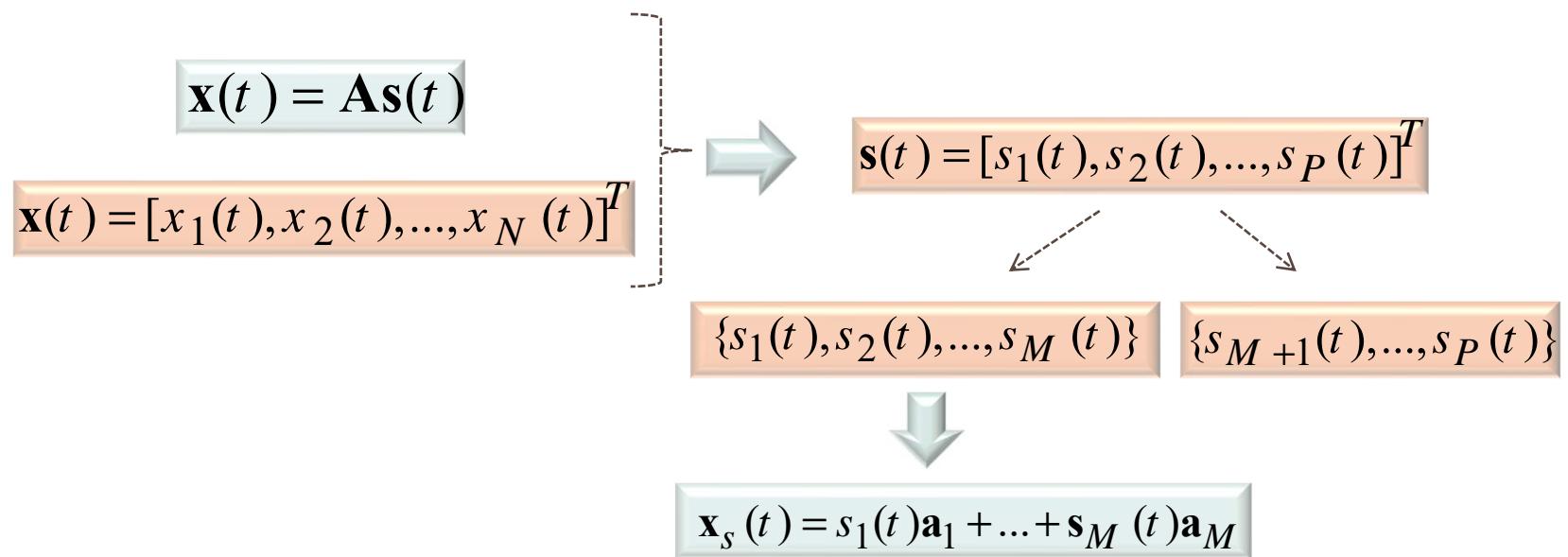
$$\mathbf{n}(t) \in \Re^N$$

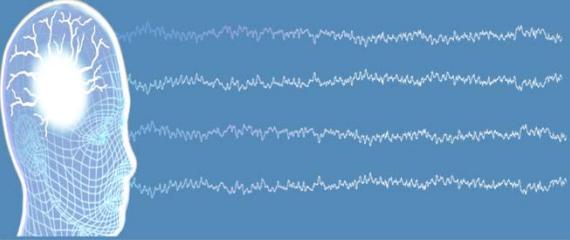
$$\mathbf{a}_i \in \text{span}\{\mathbf{A}\}$$



استخراج زیرفضای سیگنال: فرمولاسیون ریاضی مسئله

- دیدگاه دسته اول روش‌های استخراج زیرفضای سیگنال:
- اگر نویز جمع‌شونده ($\mathbf{n}(t)$) به اندازه کافی کوچک باشد:



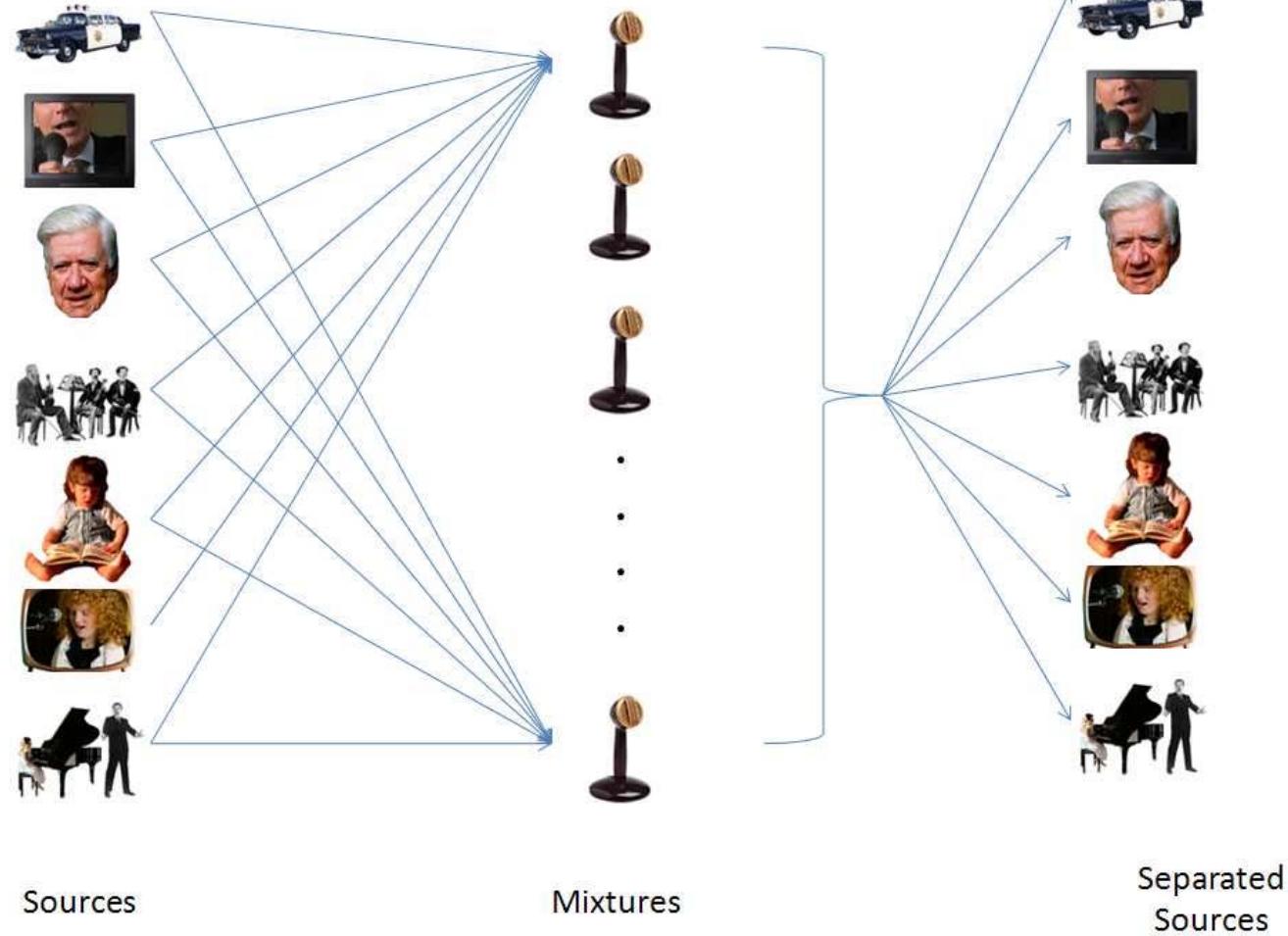


روش‌های جداسازی منابع

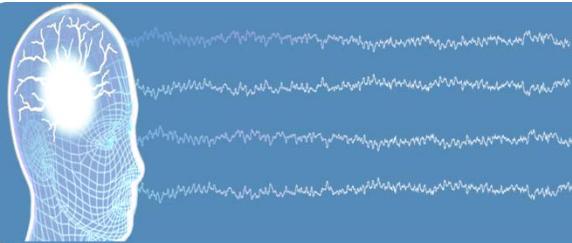
- حذف آرتیفیکت با استفاده از روش‌های جداسازی کور یا نیمه‌کور منابع
- جداسازی کور منابع (Blind Source Separation – BSS)
- جداسازی مجموعه‌ای از منابع با استفاده از مشاهدات بدون استفاده از اطلاعات در مورد منابع یا سیستم ترکیب (Semi-Blind Source Separation – SBSS)
- جداسازی مجموعه‌ای از منابع با استفاده از مشاهدات با استفاده از برخی اطلاعات موجود در مورد منابع یا سیستم ترکیب
- استفاده از روش‌های جداسازی منابع در پردازش سیگنال‌های EEG:

 - حذف مولفه‌های نامطلوب
 - استفاده از مولفه‌های استخراج شده به جای کانال‌های اصلی EEG

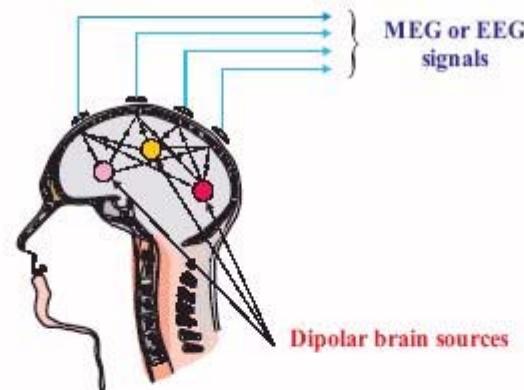
روش‌های جداسازی منابع



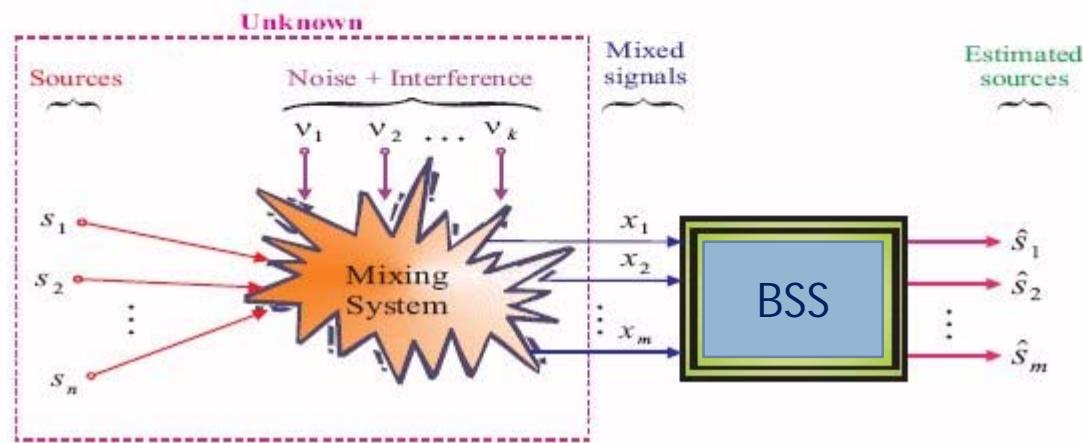
روش‌های جداسازی منابع



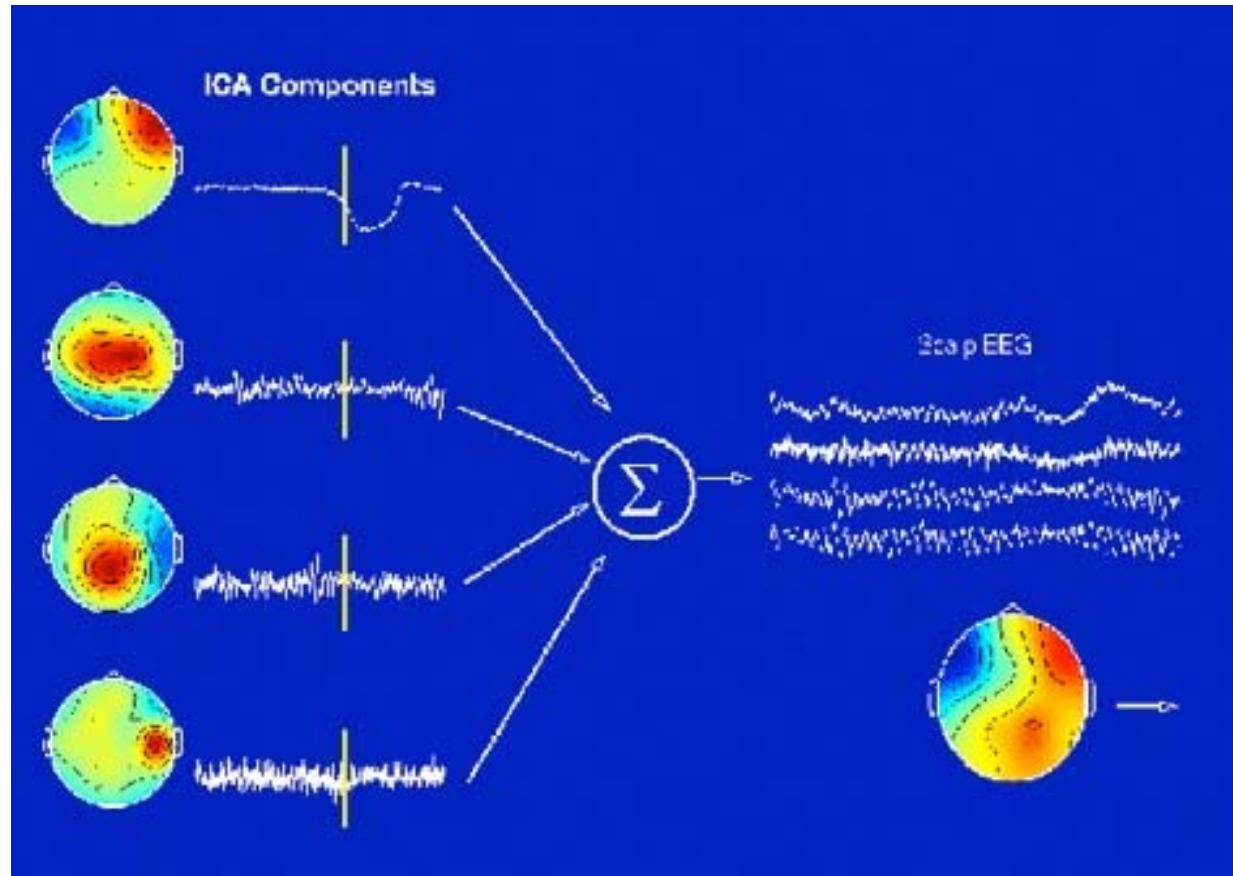
(a)



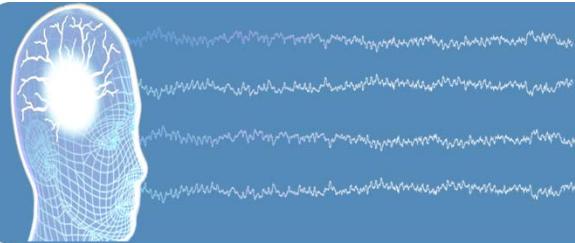
(b)



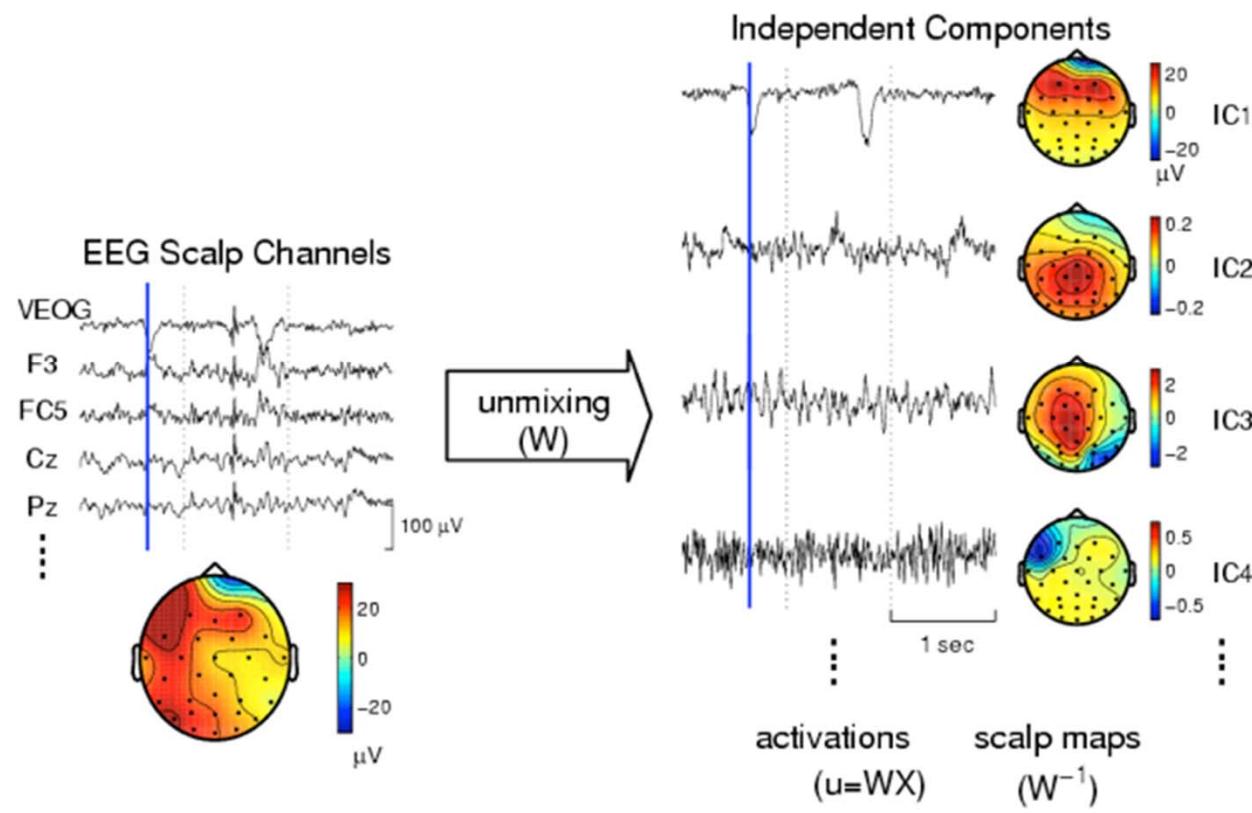
روش‌های جداسازی منابع



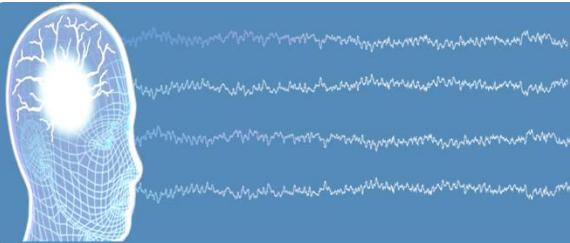
روش‌های جداسازی منابع



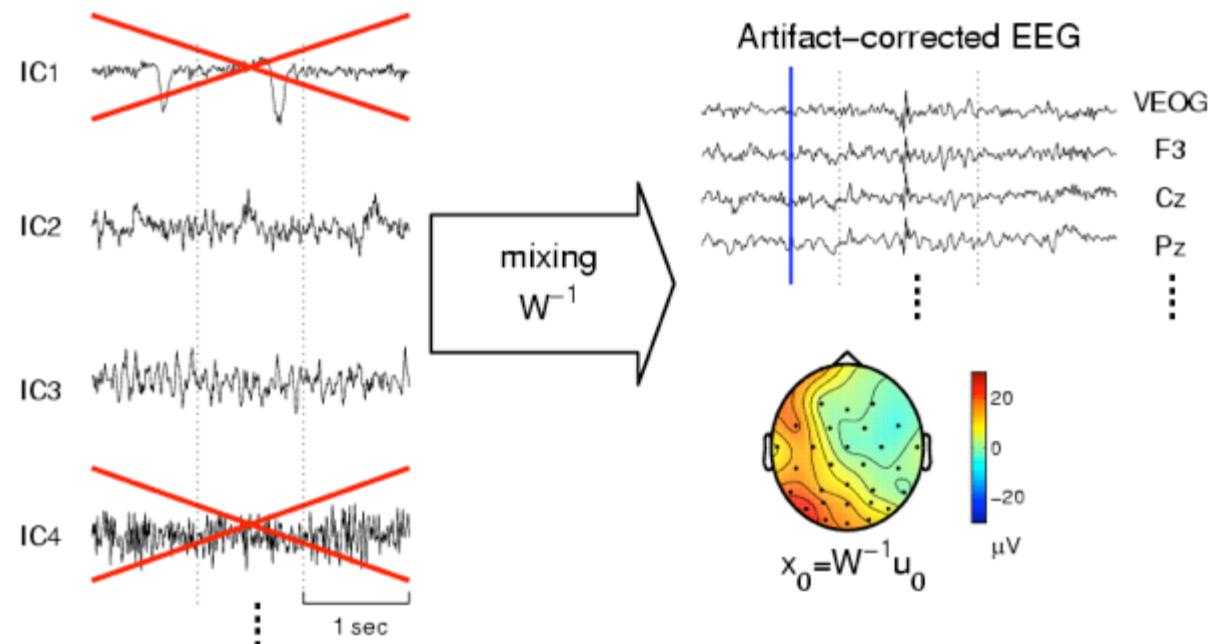
ICA decomposition



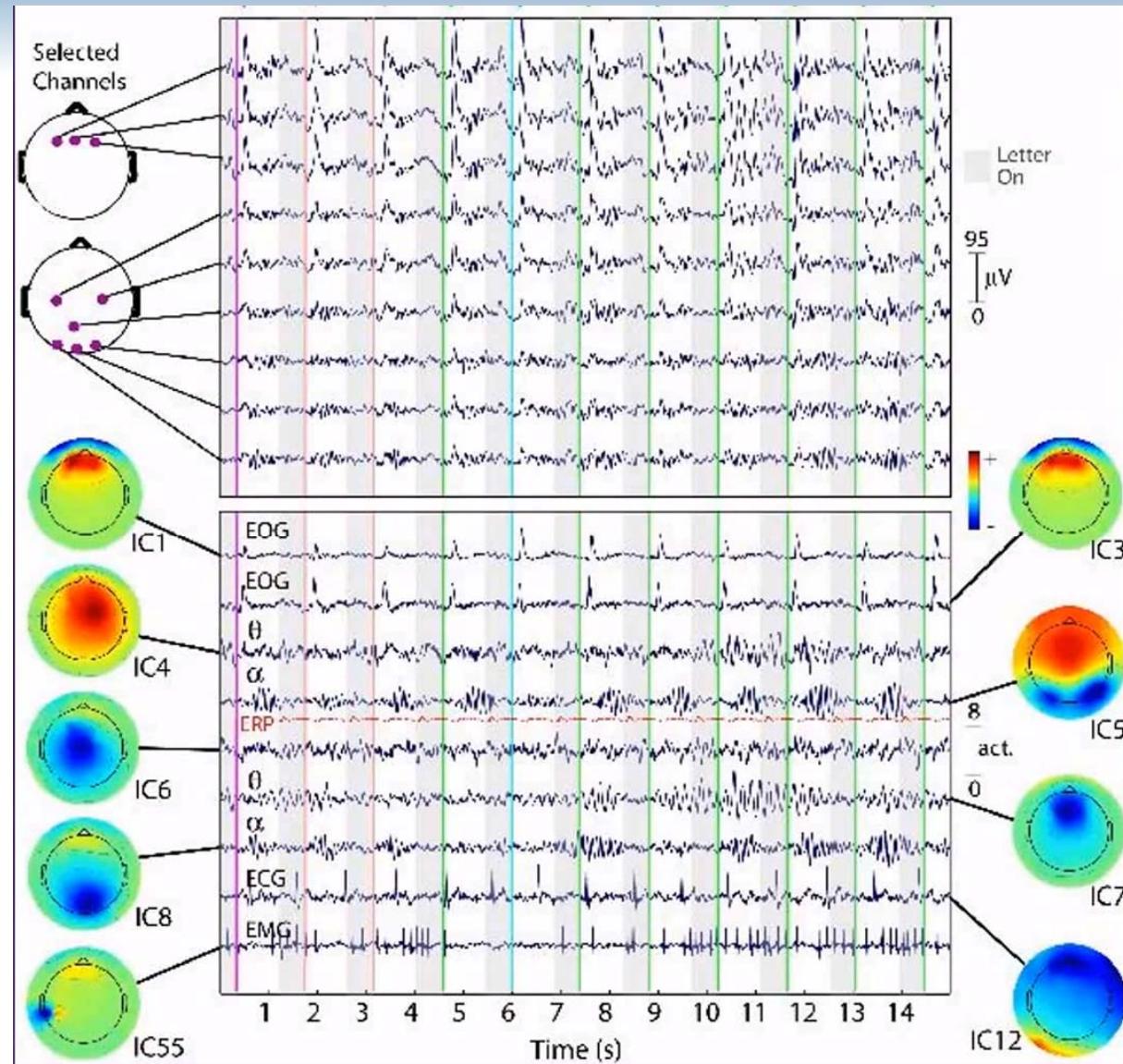
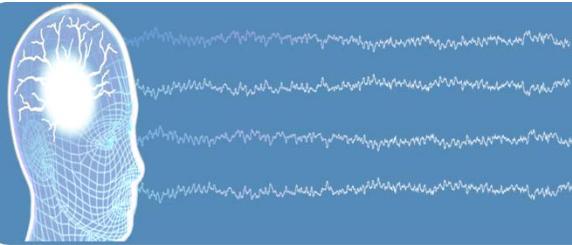
روش‌های جداسازی منابع

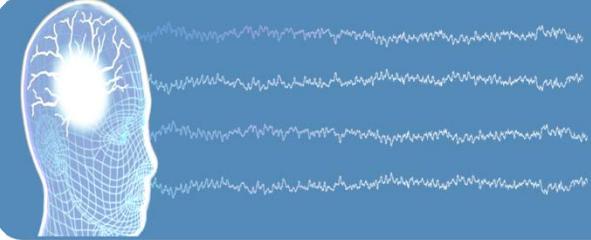


Summed Projection of Selected Components



روش‌های جداسازی منابع

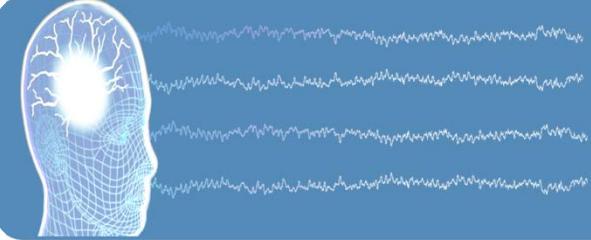




روش‌های استخراج زیرفضای سیگنال: دیدگاه اول

- روش‌های جداسازی کور منابع:
 - آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA)
 - آنالیز مولفه‌های مستقل (ICA)
 - آنالیز همبستگی کانونی (CCA)

- روش‌های جداسازی نیمه‌کور منابع:
 - Denoising Source Separation (DSS)
 - Generalized Eigenvalue Decomposition (GEVD)
 - The subspace decomposition with a deflation procedure



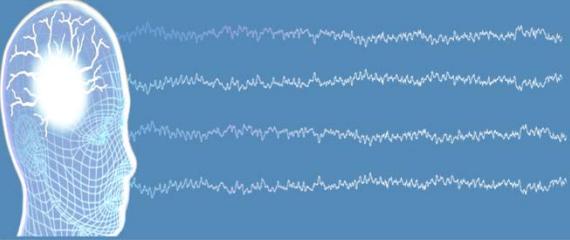
روش‌های استخراج زیرفضای سیگنال: دیدگاه اول

آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA)

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{As}(t), \quad \mathbf{s}(t) = [s_1(t), s_2(t), \dots, s_P(t)]^T$$

Random Variables s_i are uncorrelated

Matrix \mathbf{A} is orthogonal



روش‌های استخراج زیرفضای سیگنال: دیدگاه اول

○ آنالیز مولفه‌های مستقل (ICA)

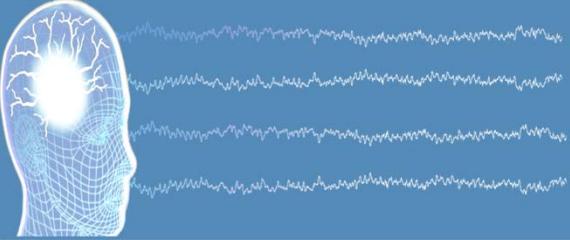
$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{A}\mathbf{s}(t), \quad \mathbf{s}(t) = [s_1(t), s_2(t), \dots, s_P(t)]^T$$

Random Variables s_i are independent

Matrix \mathbf{A} is full rank

○ مانند:

JADE , SOBI , CoM₂ , Infomax , FastICA ○



روش‌های استخراج زیرفضای سیگنال: دیدگاه اول

آنالیز همبستگی کانونی (CCA)

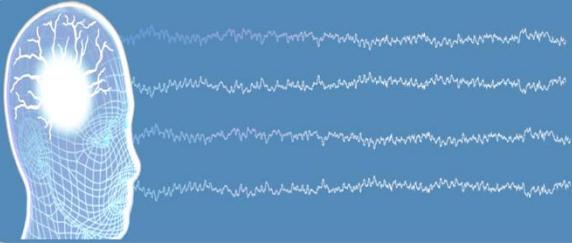
$\mathbf{z}(t) = \mathbf{W}\mathbf{x}(t) \Rightarrow$ Maximum autocorrelation
Minimum cross-correlation

$$\mathbf{x}_1(t) = \mathbf{x}(t) \quad \mathbf{x}_2(t) = \mathbf{x}(t-1)$$

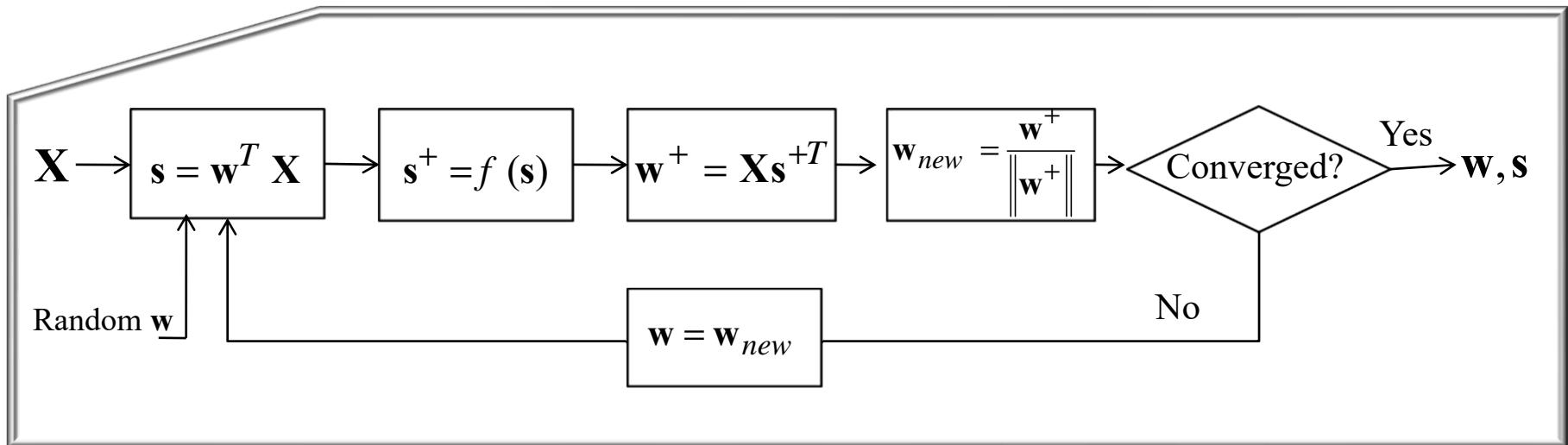
$$\mathbf{u} = \mathbf{w}_1^T \mathbf{x}_1 \quad \mathbf{v} = \mathbf{w}_2^T \mathbf{x}_2$$

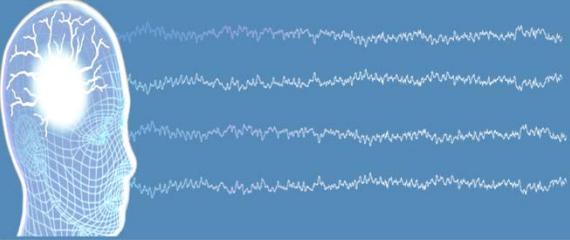
$$\max \left\{ \rho(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \frac{E\{\mathbf{u}, \mathbf{v}\}}{\sqrt{E\{\mathbf{u}^2\}E\{\mathbf{v}^2\}}} = \frac{\mathbf{w}_1^T \mathbf{C}_{x_1 x_2} \mathbf{w}_2}{\sqrt{(\mathbf{w}_1^T \mathbf{C}_{x_1 x_1} \mathbf{w}_1)} \sqrt{(\mathbf{w}_2^T \mathbf{C}_{x_2 x_2} \mathbf{w}_2)}} \right\}$$

روش‌های استخراج زیرفضای سیگنال: دیدگاه اول



Denoising Source Separation (DSS) ○





روش‌های استخراج زیرفضای سیگنال: دیدگاه اول

Generalized Eigenvalue Decomposition (GEVD) ◦

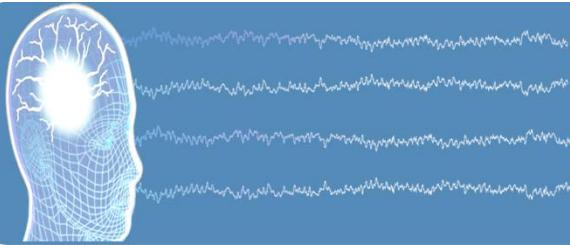
$$\text{GEVD } (\mathbf{A}, \mathbf{B}): \quad \mathbf{W}^T \mathbf{A} \mathbf{W} = \mathbf{D}, \quad \mathbf{W}^T \mathbf{B} \mathbf{W} = \mathbf{I}$$

$$\mathbf{w}_1 = \arg \max_{\mathbf{w}} \left\{ J(\mathbf{w}) = \frac{\mathbf{w}^T \mathbf{A} \mathbf{w}}{\mathbf{w}^T \mathbf{B} \mathbf{w}} \right\}$$

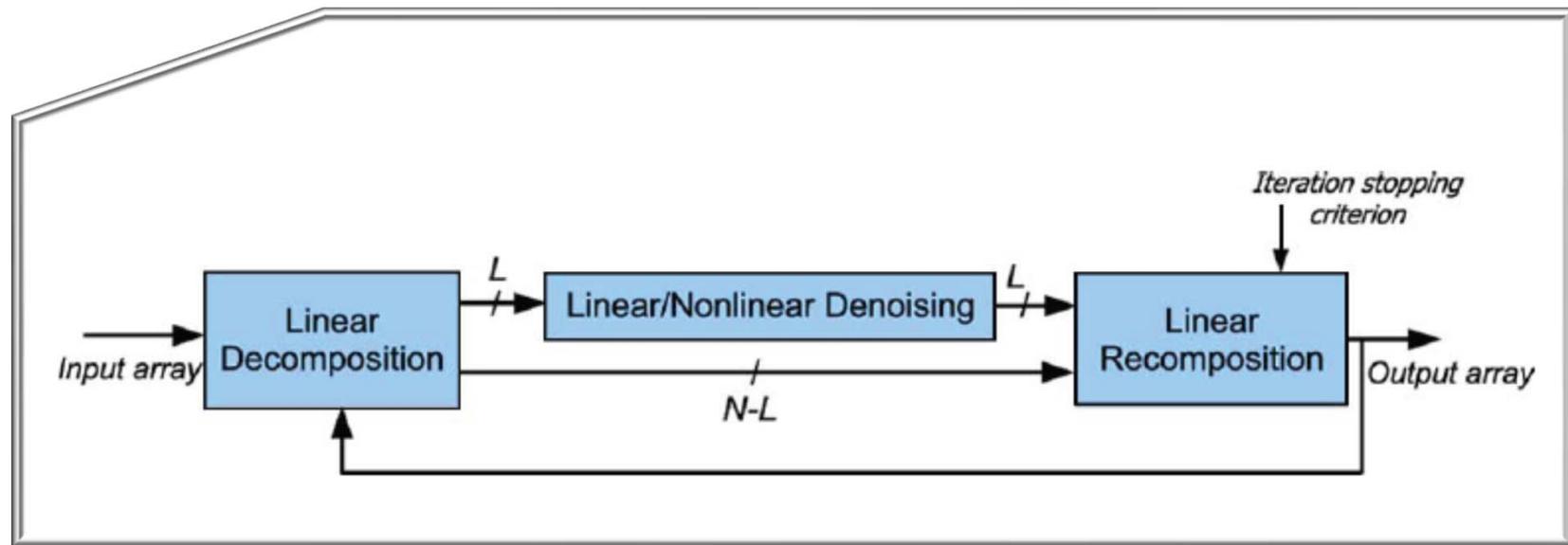
$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{w}^T \mathbf{x}(t) = \mathbf{w}^T \mathbf{x}_s(t) + \mathbf{w}^T \mathbf{x}_n(t) = \mathbf{y}_s(t) + \mathbf{y}_n(t)$$

Max SNR, Max nonstationary, Max periodicity, ...

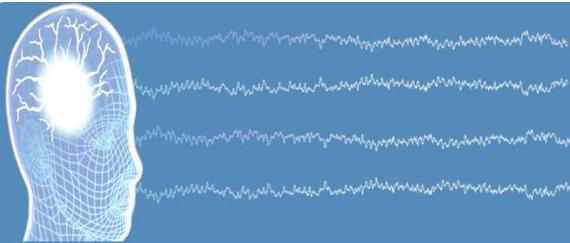
روش‌های استخراج زیرفضای سیگنال: دیدگاه اول



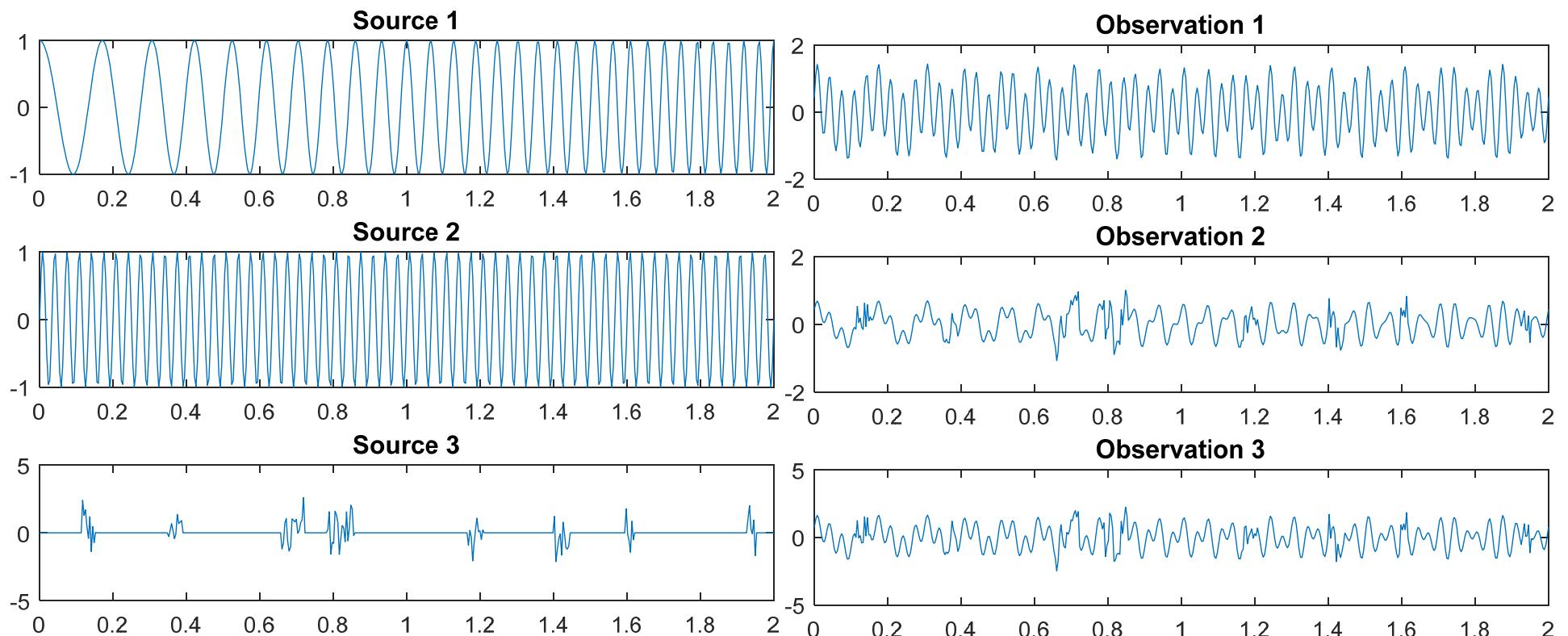
The subspace decomposition with a deflation procedure ○



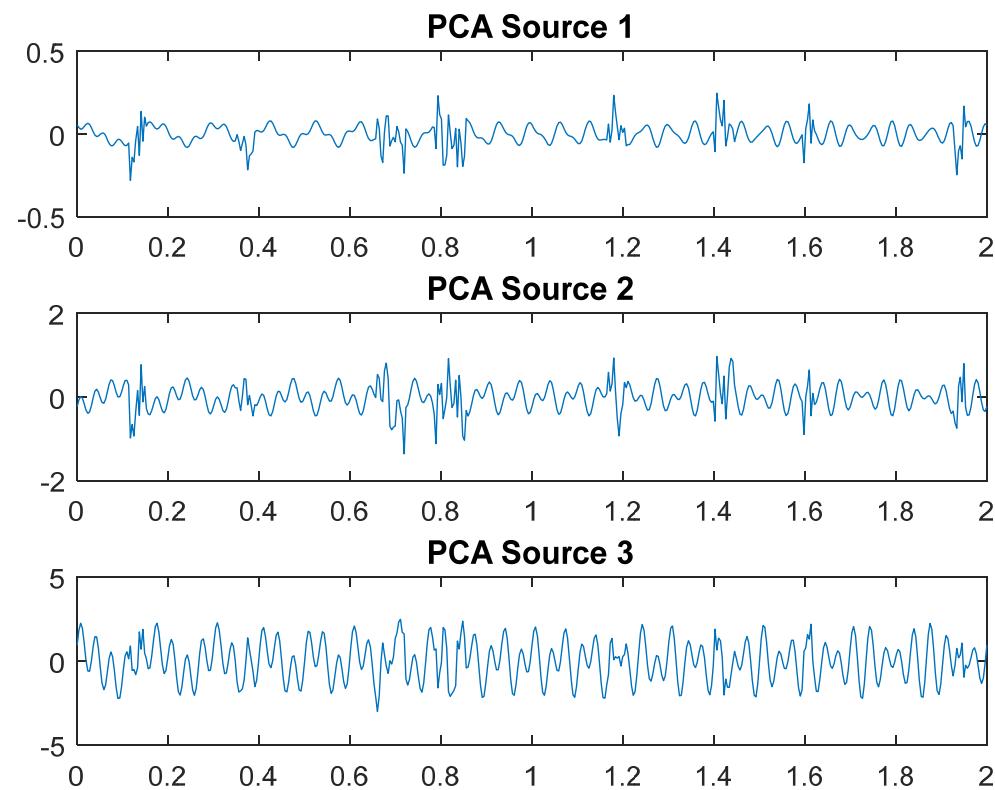
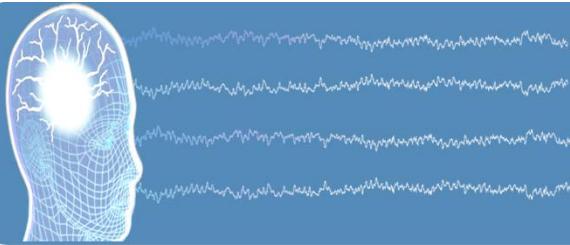
مثال‌هایی از روش‌های جداسازی منابع



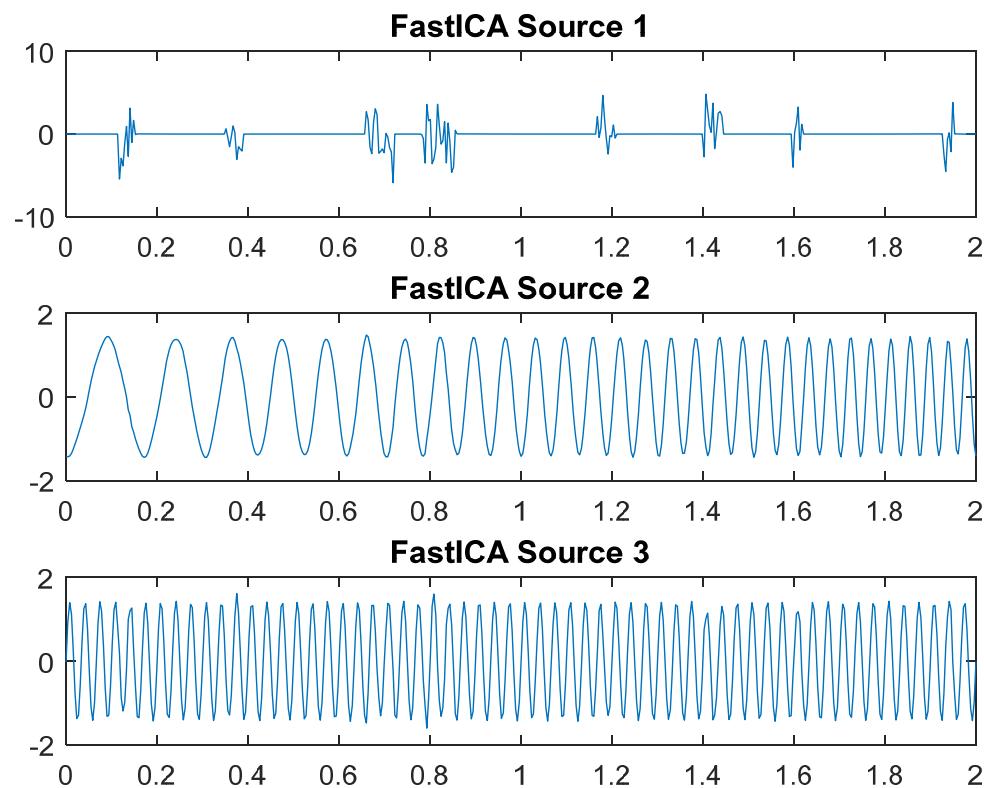
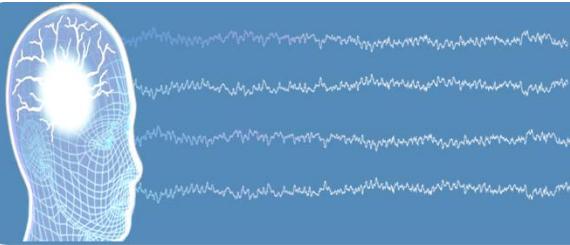
○ مشاهدات بدون نویز



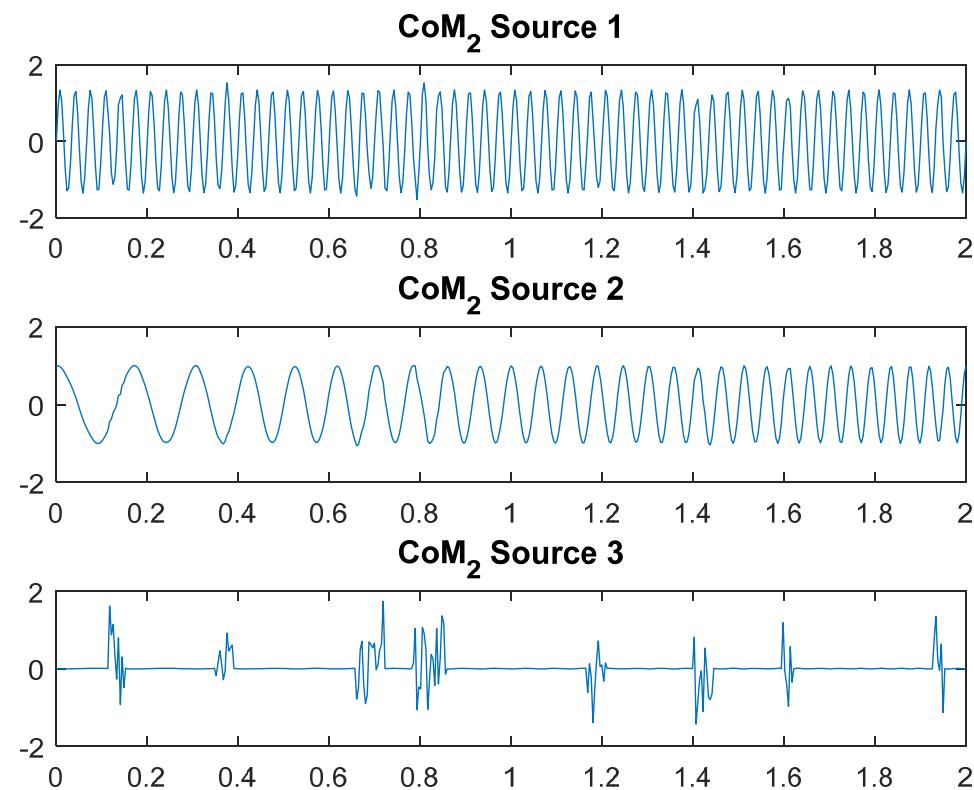
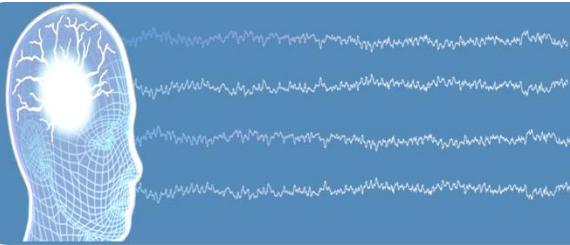
مثال‌هایی از روش‌های جداسازی منابع



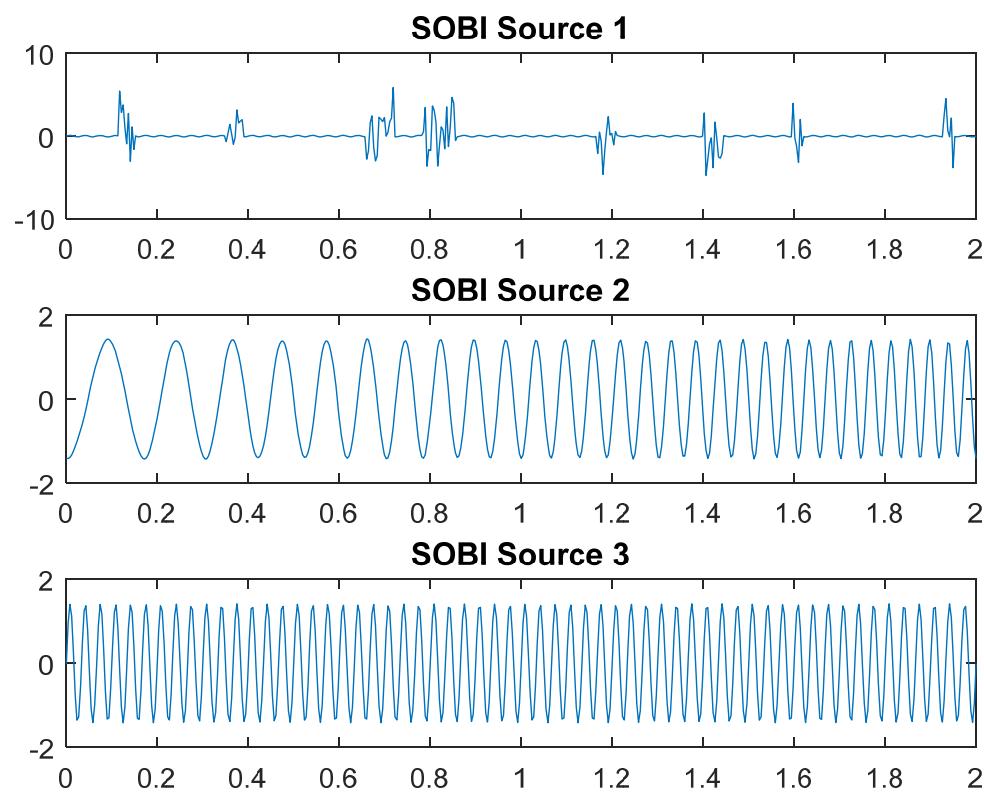
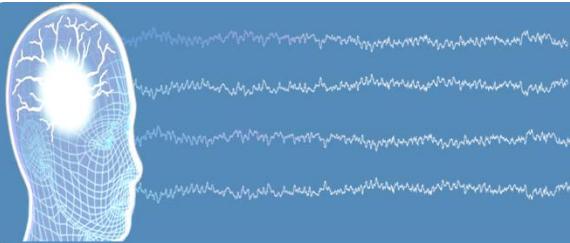
مثال‌هایی از روش‌های جداسازی منابع



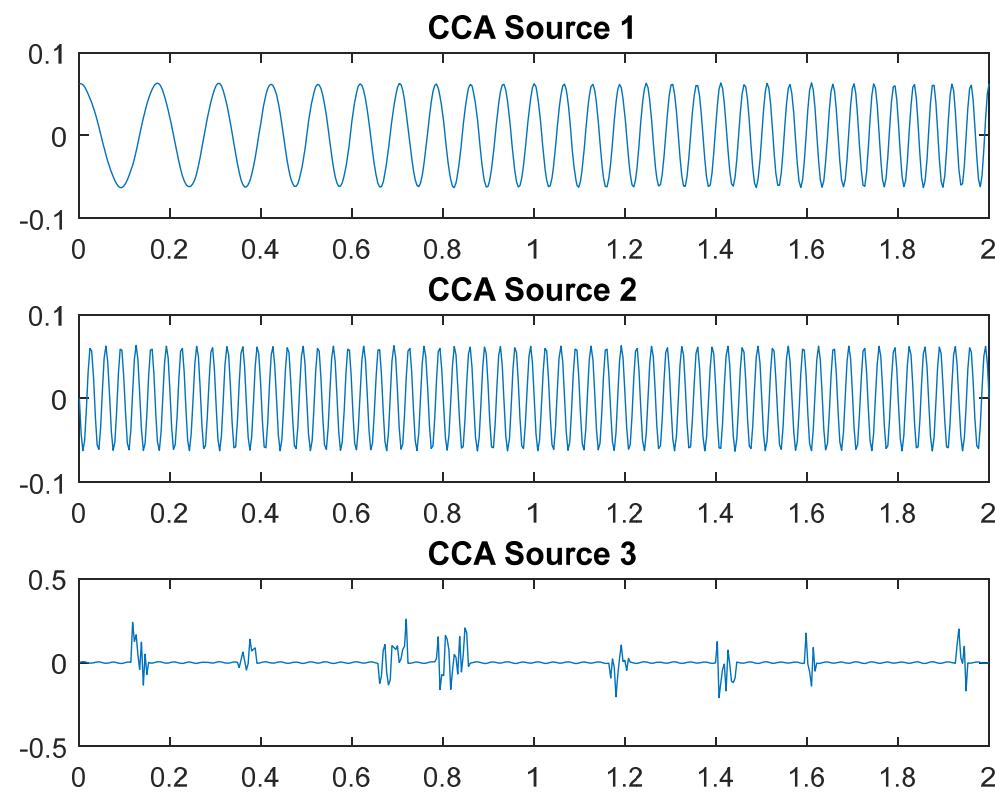
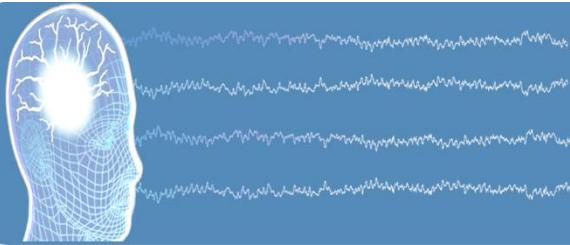
مثال‌هایی از روش‌های جداسازی منابع



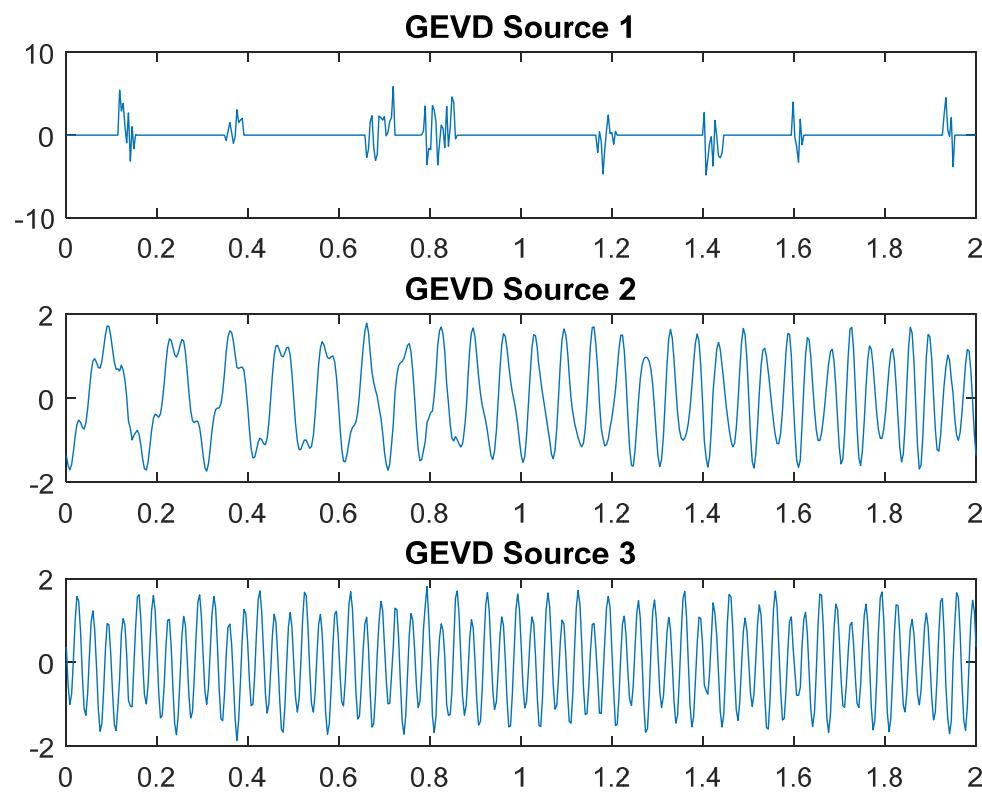
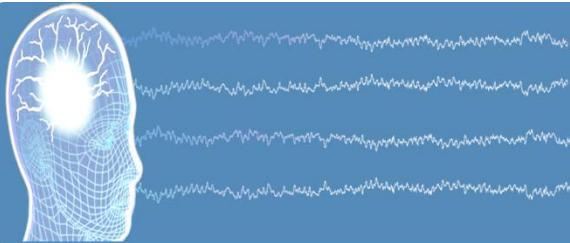
مثال‌هایی از روش‌های جداسازی منابع



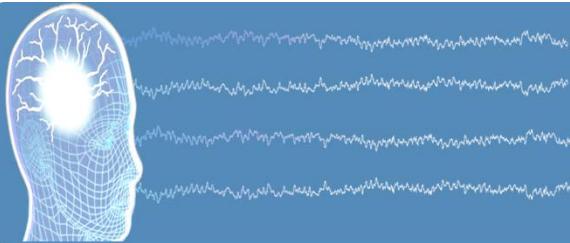
مثال‌هایی از روش‌های جداسازی منابع



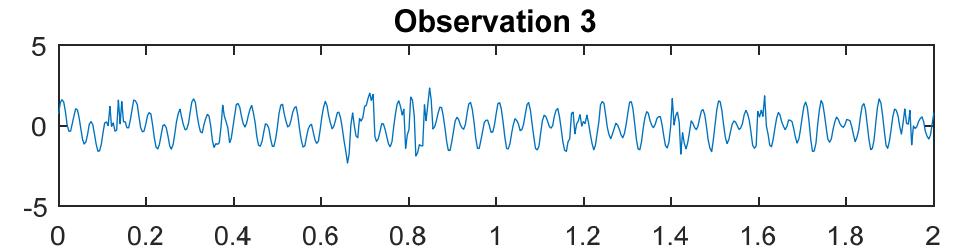
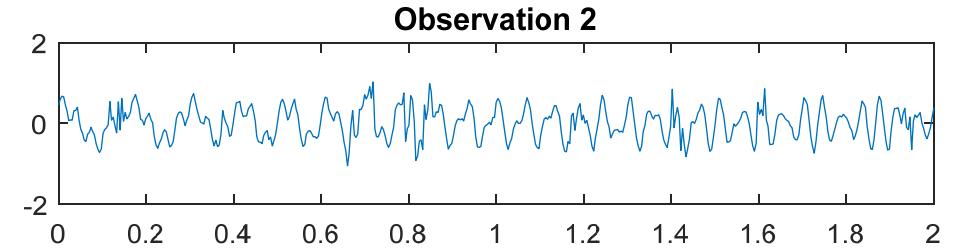
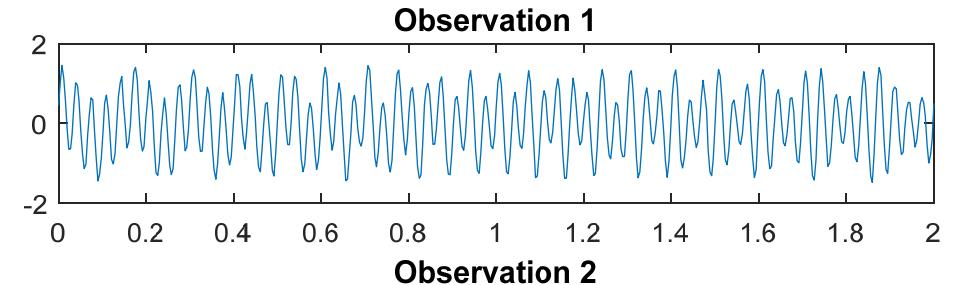
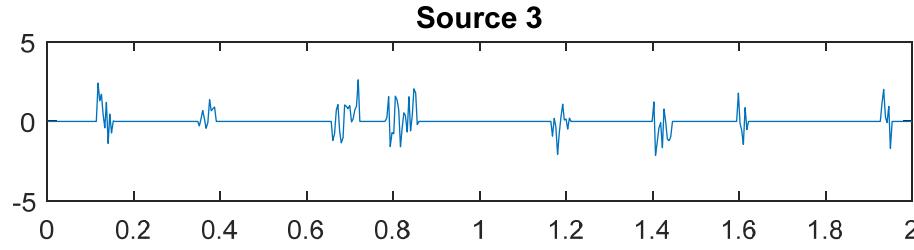
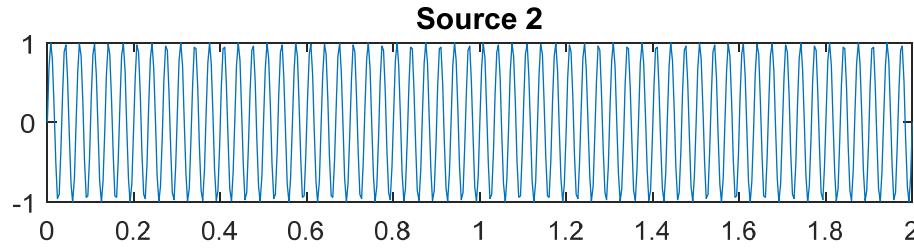
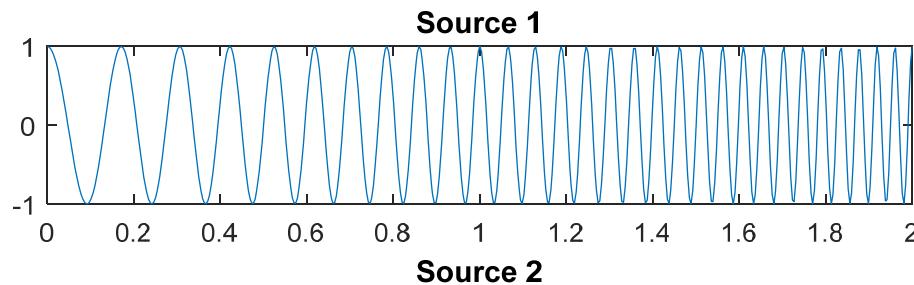
مثال‌هایی از روش‌های جداسازی منابع



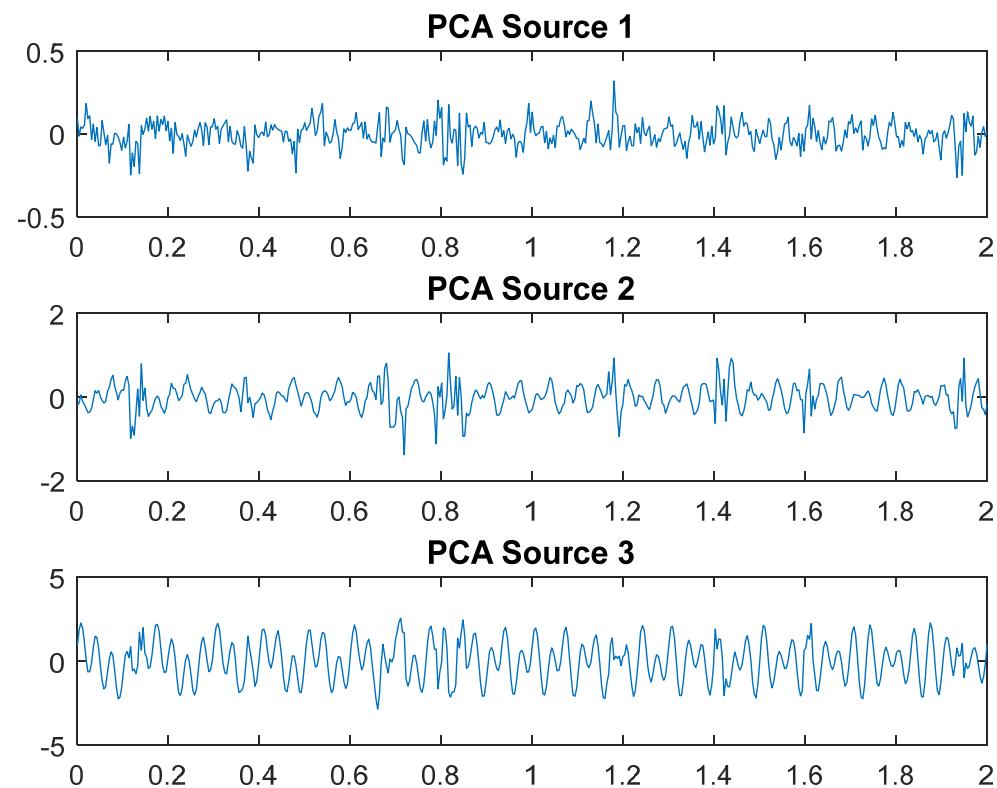
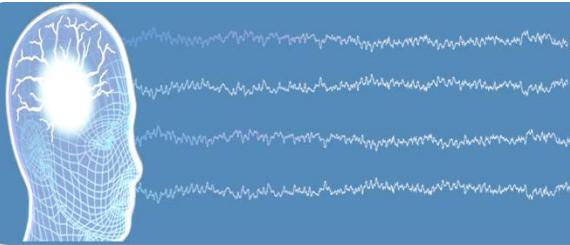
مثال‌هایی از روش‌های جداسازی منابع



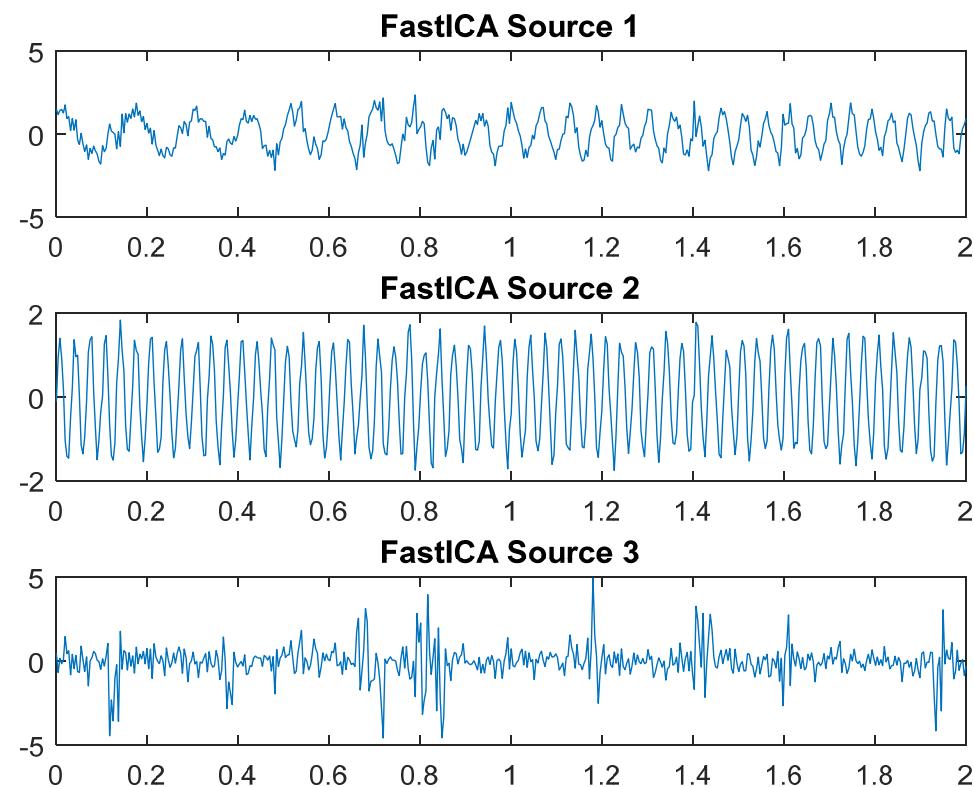
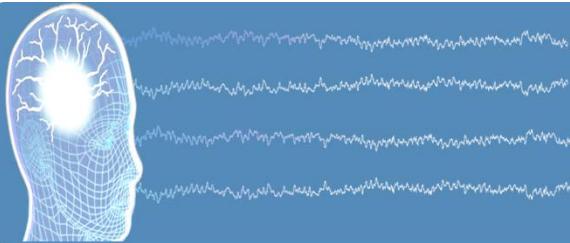
○ مشاهدات همراه با نویز



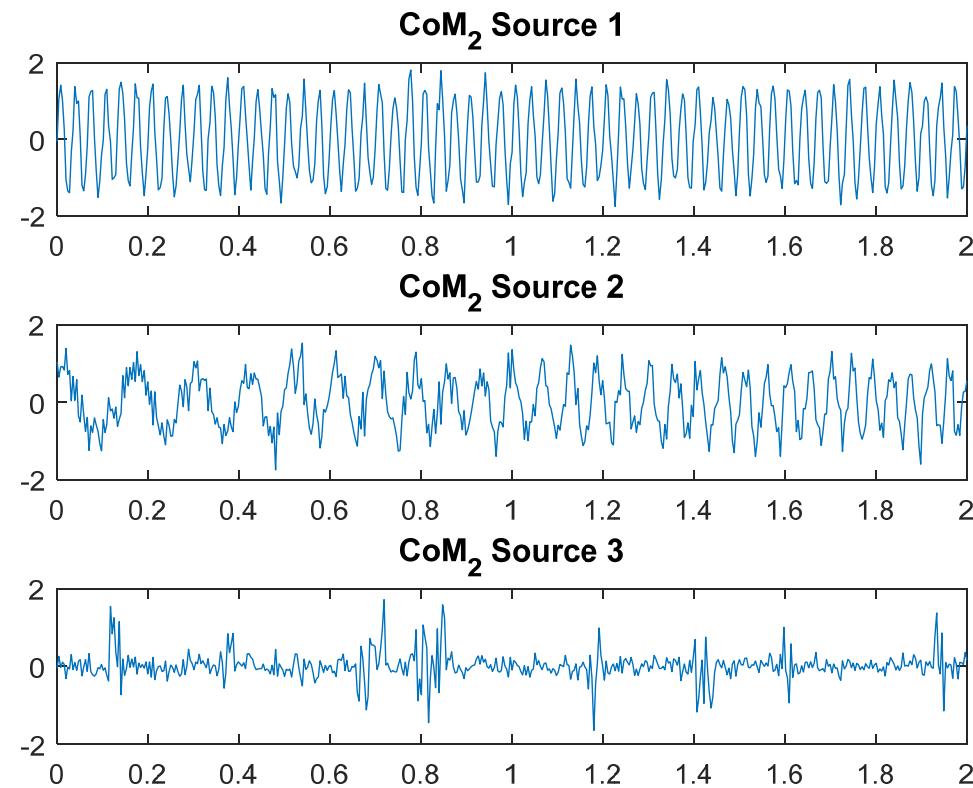
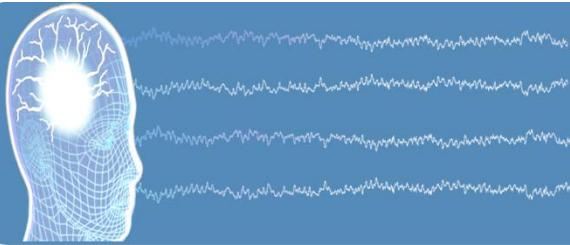
مثال‌هایی از روش‌های جداسازی منابع



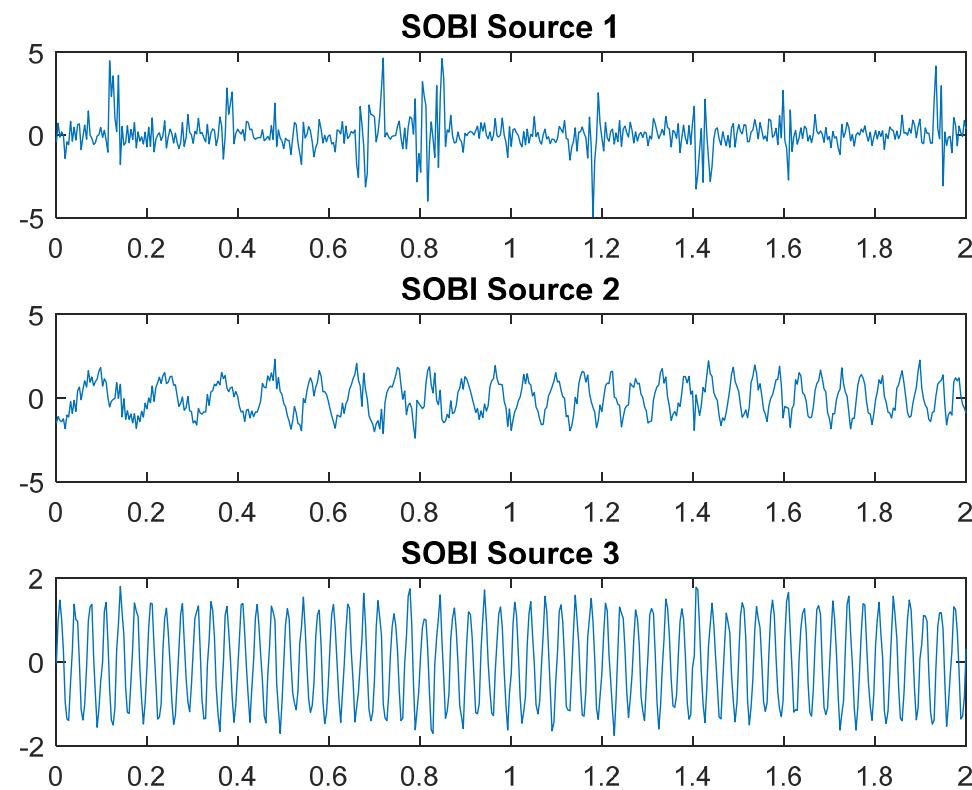
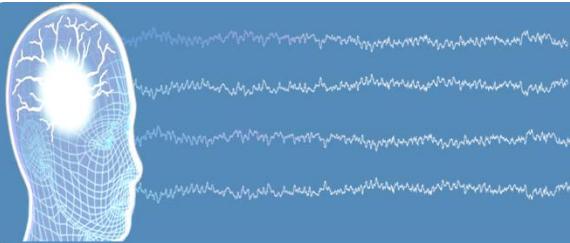
مثال‌هایی از روش‌های جداسازی منابع



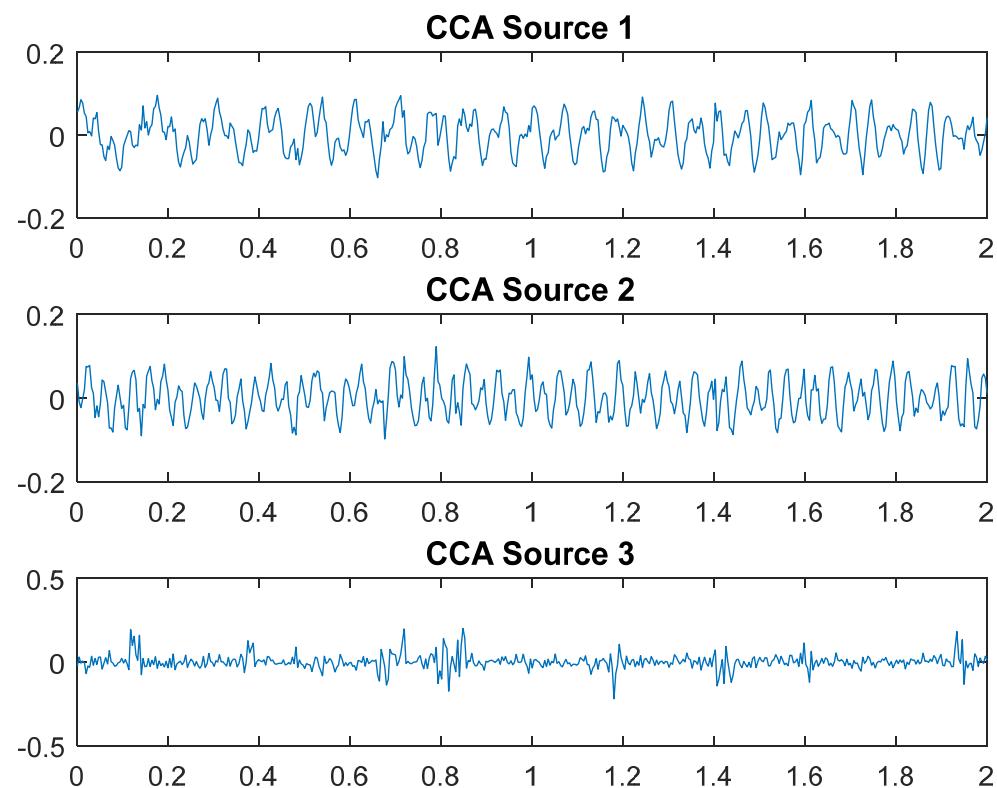
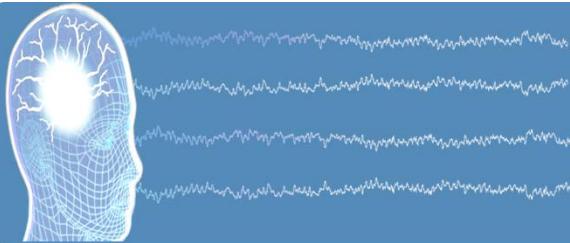
مثال‌هایی از روش‌های جداسازی منابع



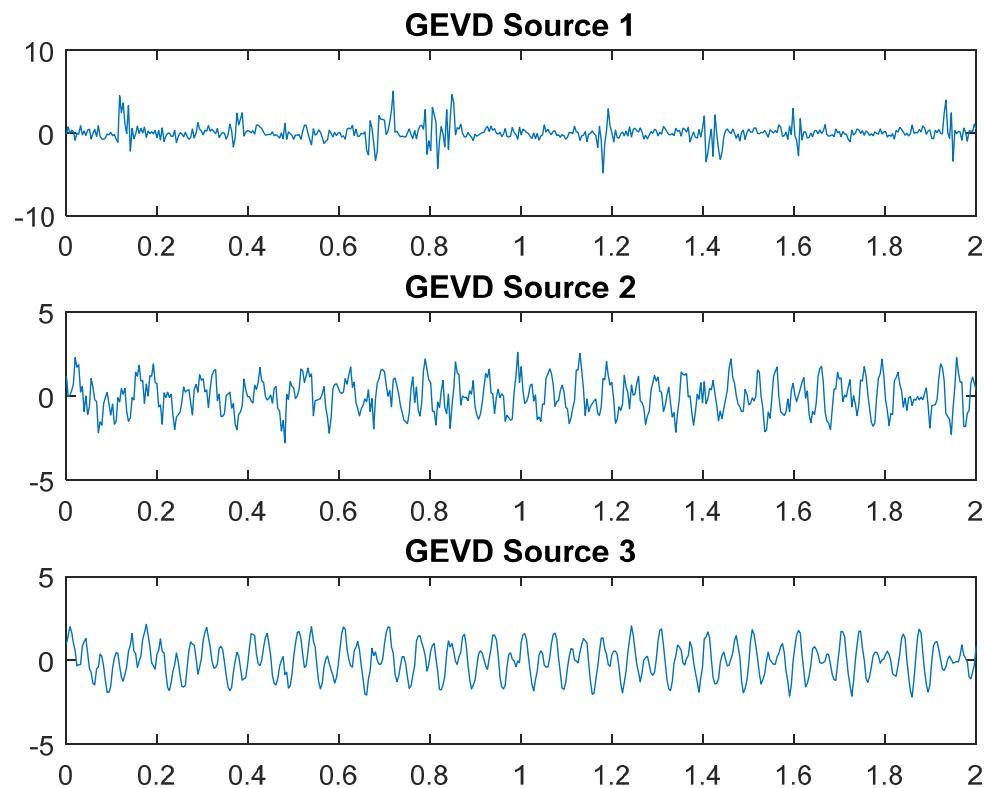
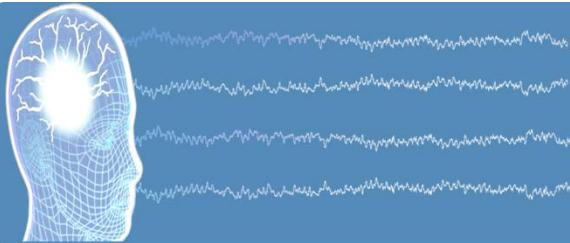
مثال‌هایی از روش‌های جداسازی منابع

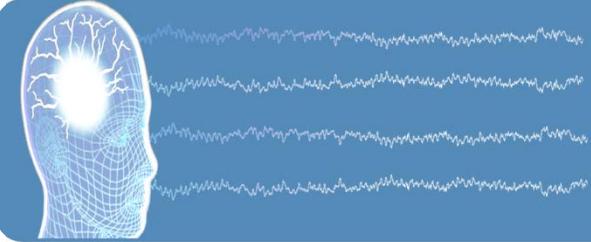


مثال‌هایی از روش‌های جداسازی منابع



مثال‌هایی از روش‌های جداسازی منابع

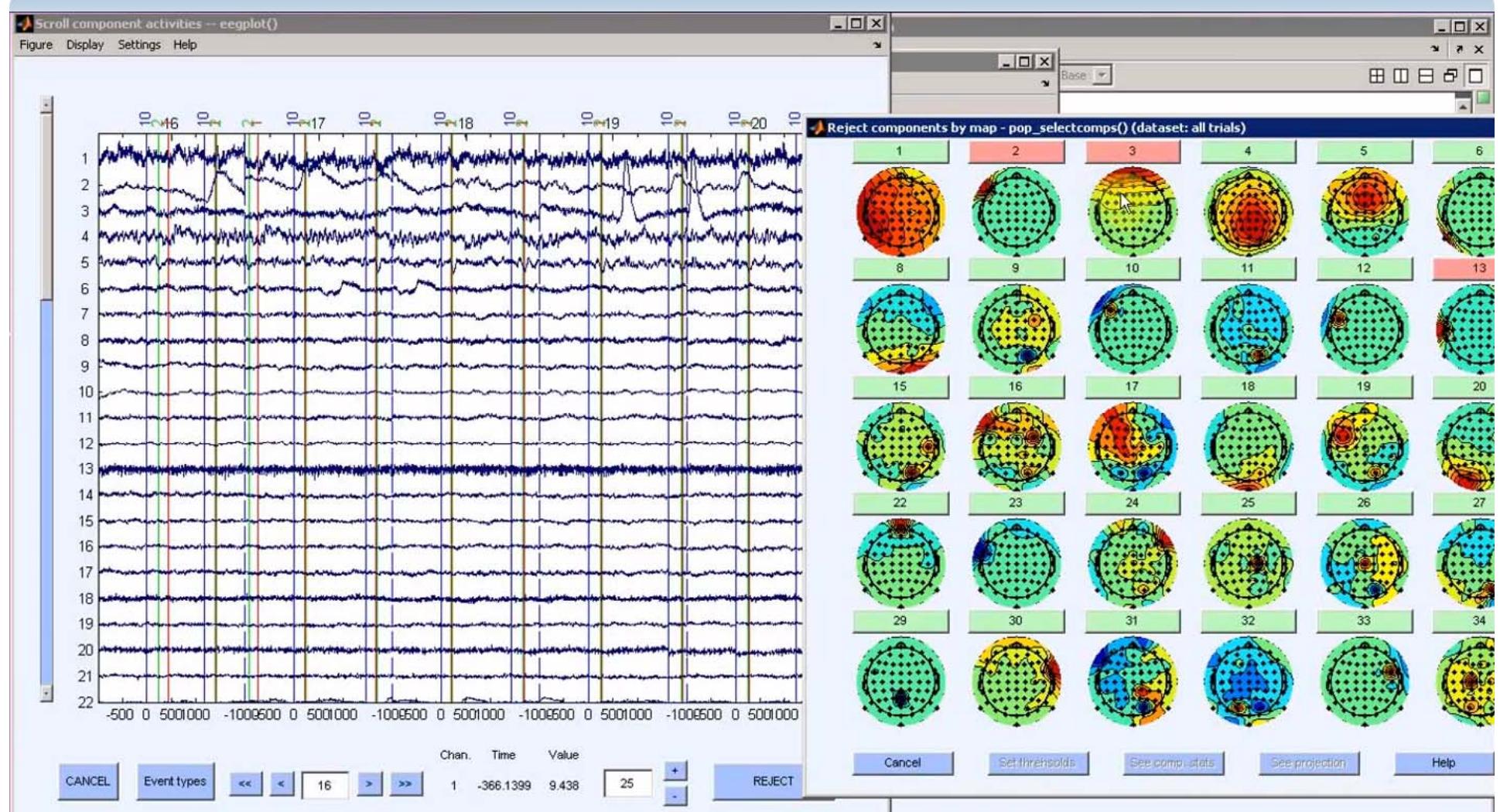




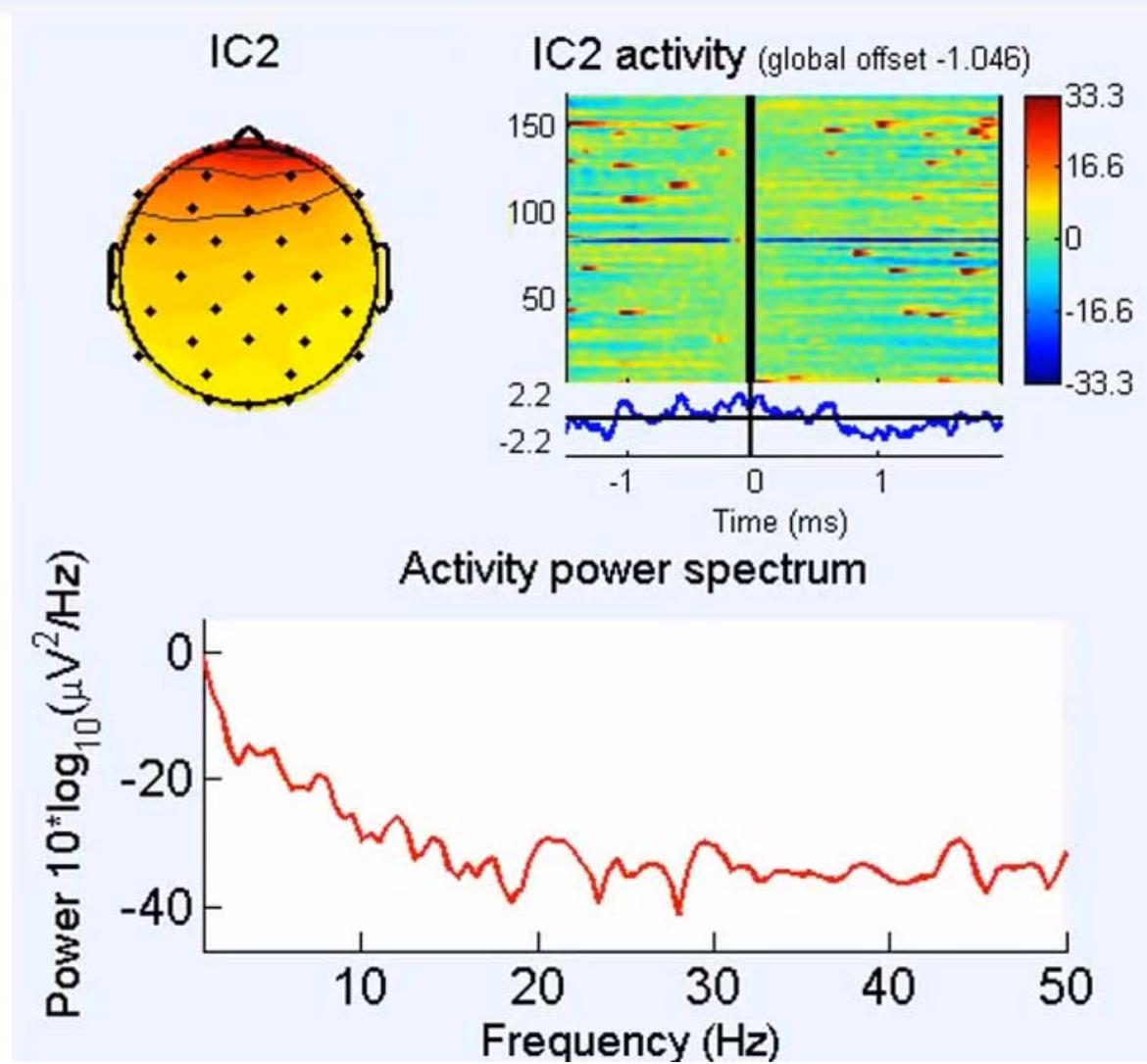
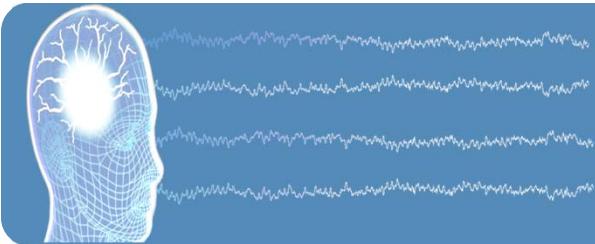
حذف نویز و آرتیفیکت با استفاده از آنالیز مولفه‌های مستقل

- حذف مولفه‌های نامطلوب:
- رسم و بررسی اطلاعات در حوزه‌های زمان، فرکانس و مکان
- تعیین مولفه‌های نامطلوب (مربوط به هر آرتیفیکتی که منشأ تولید آن EEG نباشد)
- مولفه‌هایی که معمولاً با ICA قابل حذف هستند: پلک زدن و حرکت چشم، نویز ماهیچه، نویز ضربان قلب
- معمولاً برای حذف بیشتر از یک مولفه باید بتوانید خودتان را متقادع کنید.
- اگر در مورد مولفه‌ای شک دارید، آن را حذف نکنید:
- بهتر است مقداری نویز باقی بماند تا اینکه سیگنال مطلوب (اصلی) حذف شود.

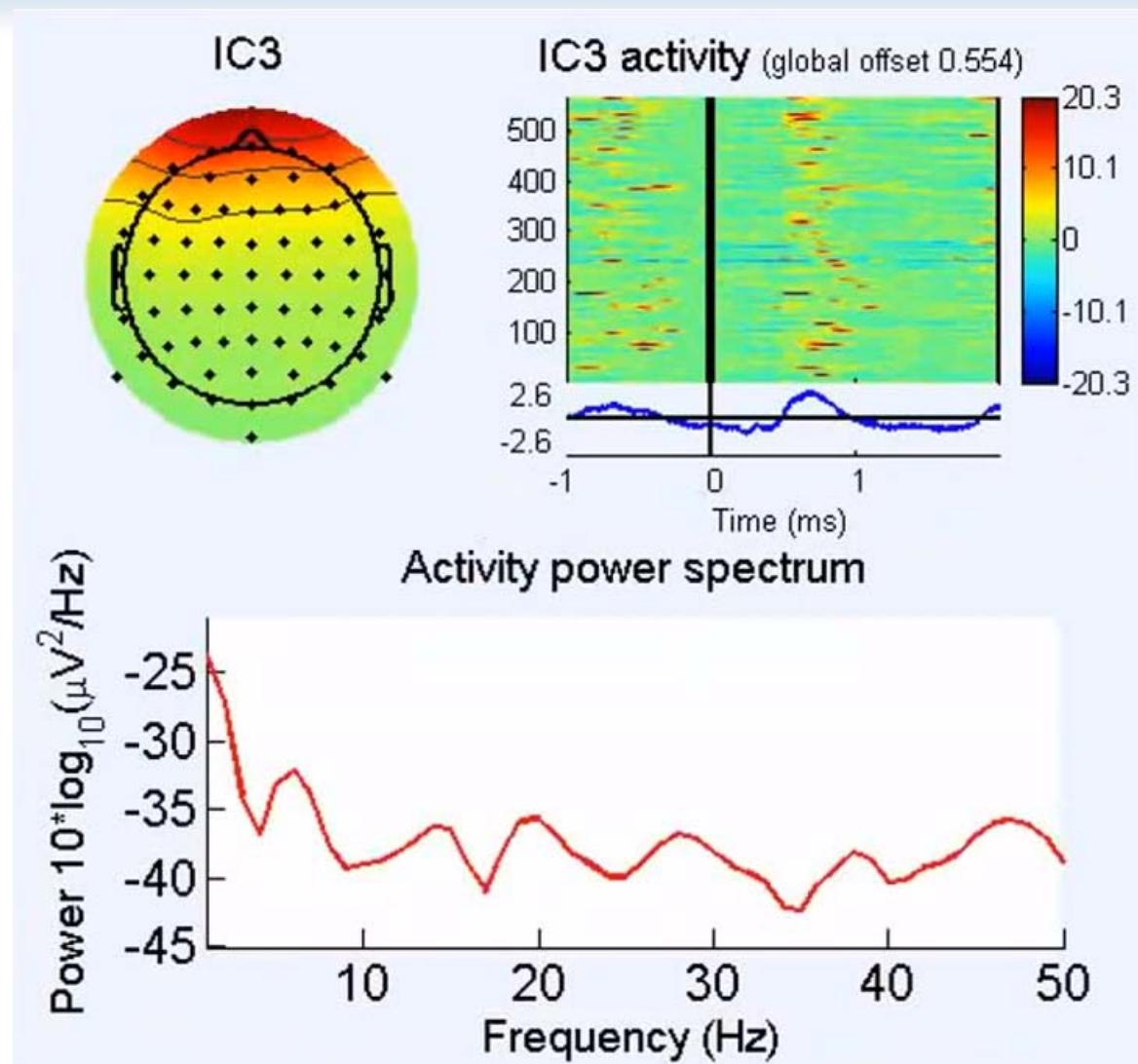
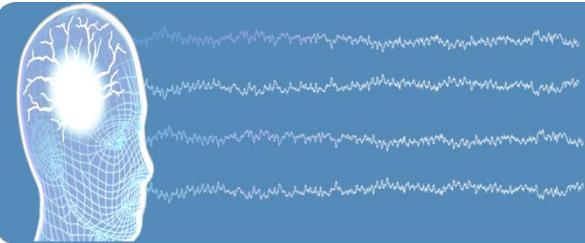
مثال: آنالیز مولفه های مستقل



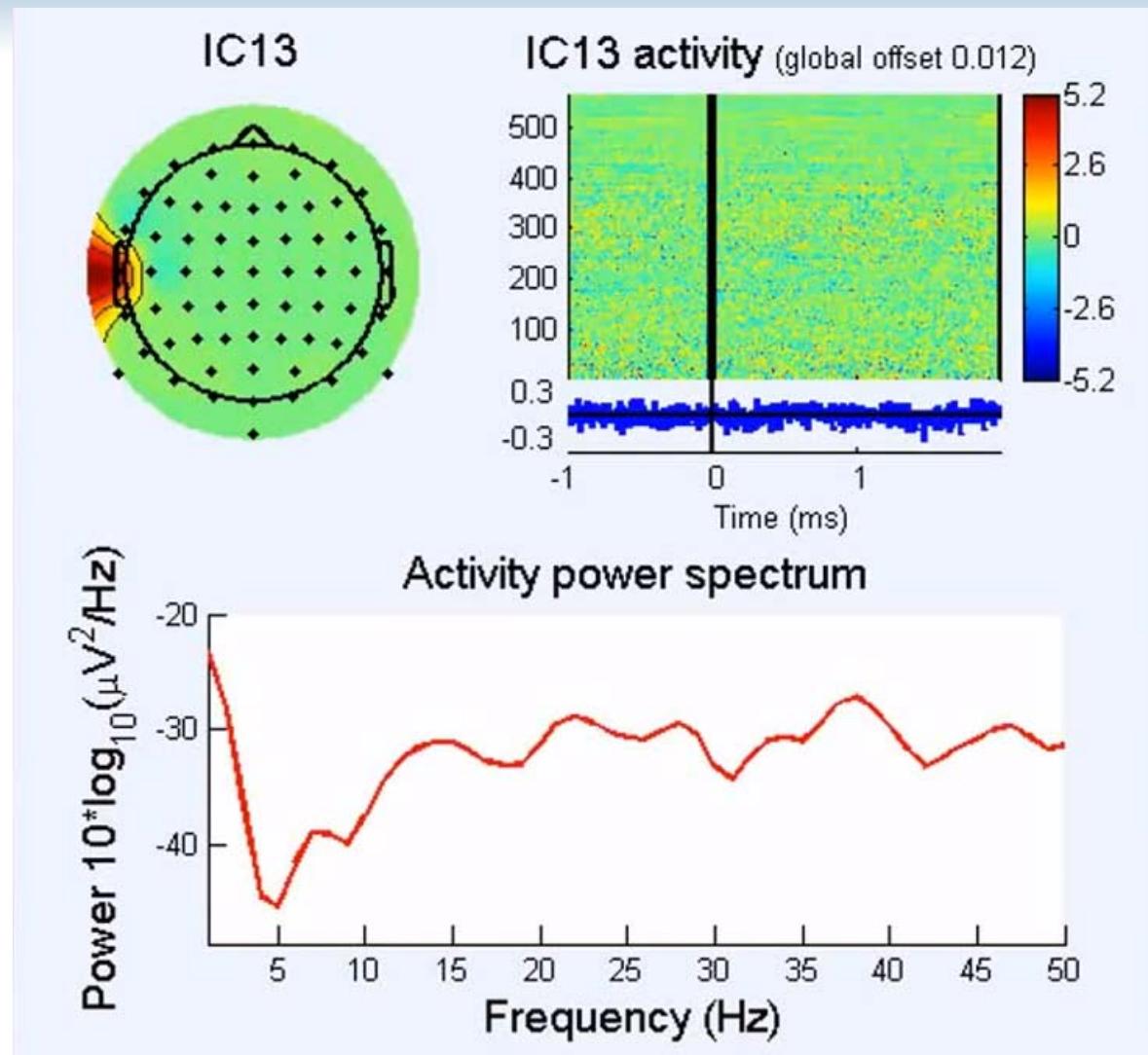
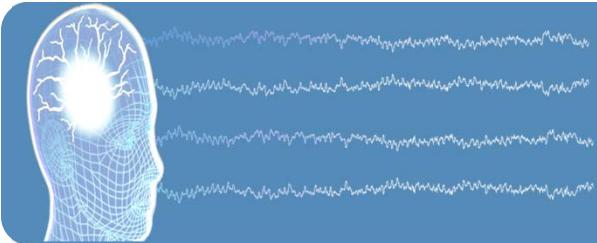
مثال: آنالیز مولفه های مستقل



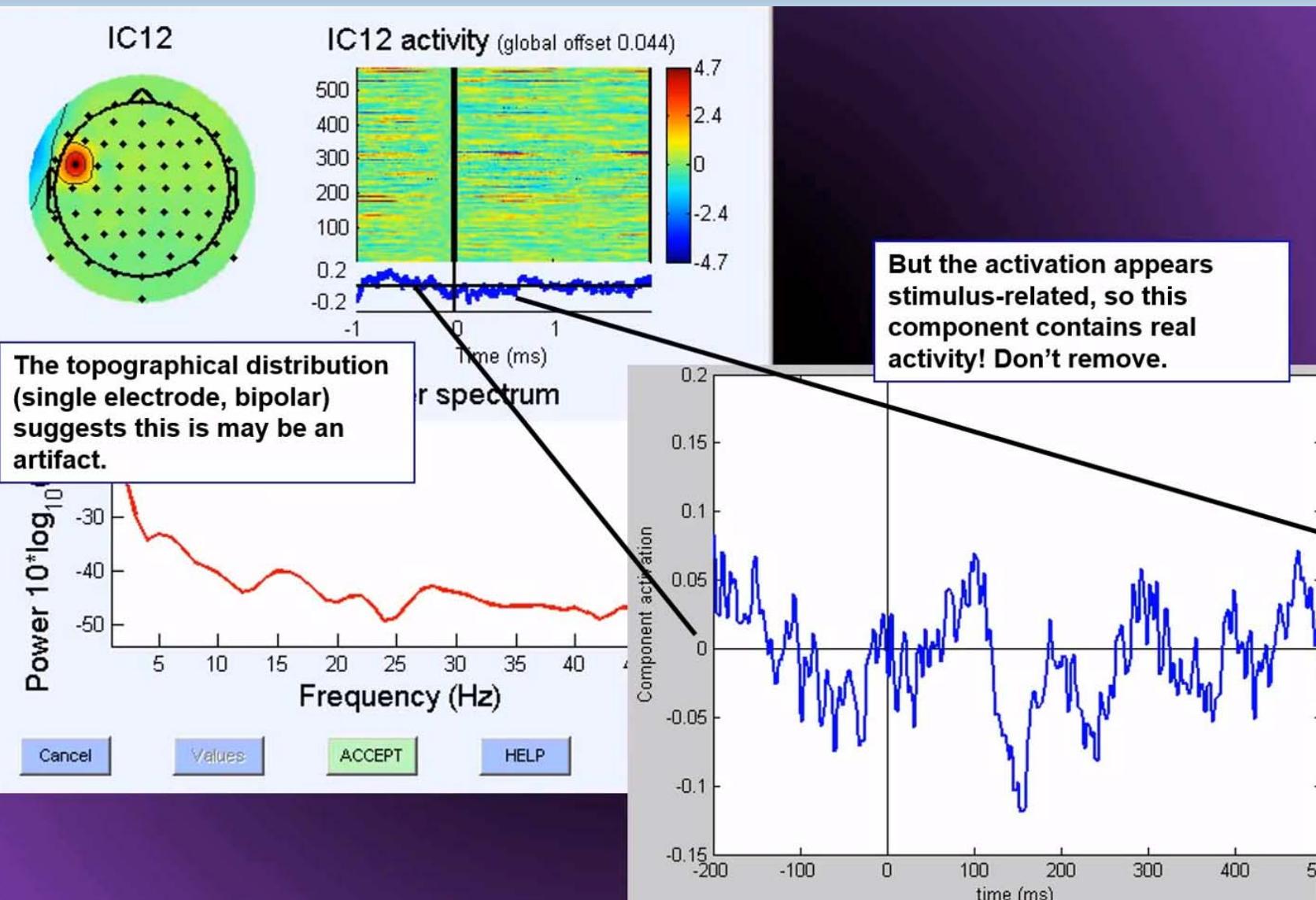
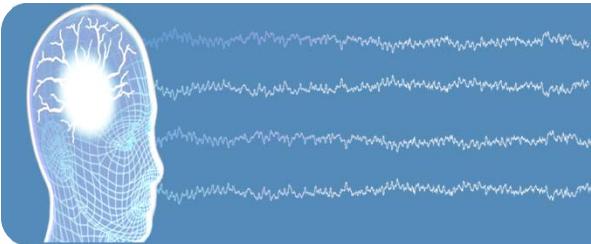
مثال: آنالیز مولفه های مستقل



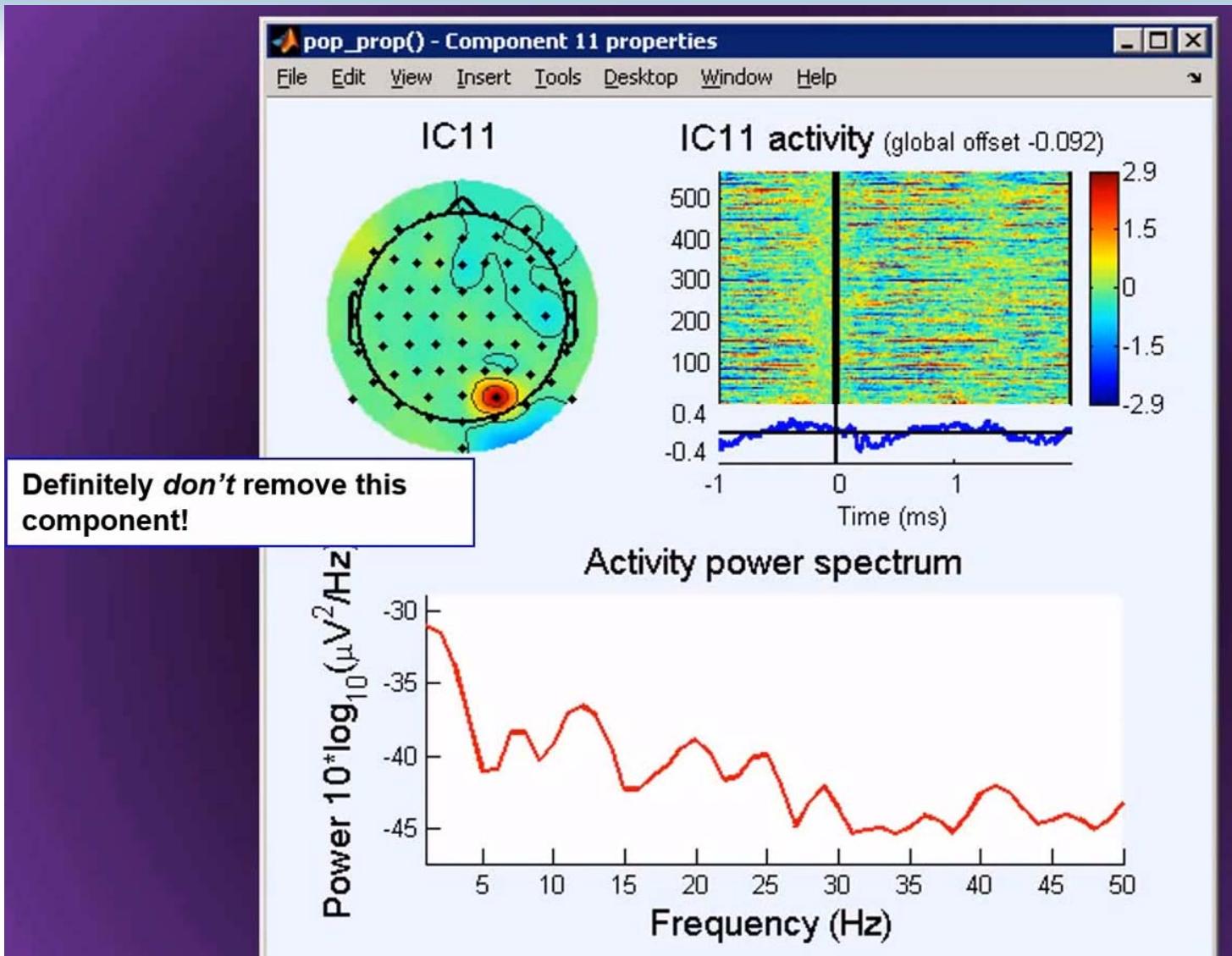
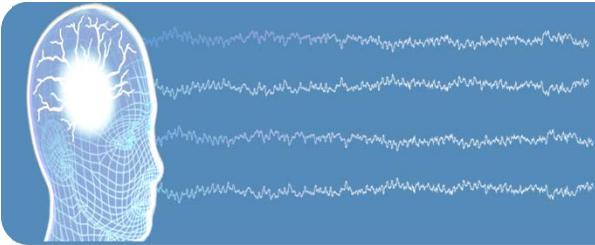
مثال: آنالیز مولفه های مستقل

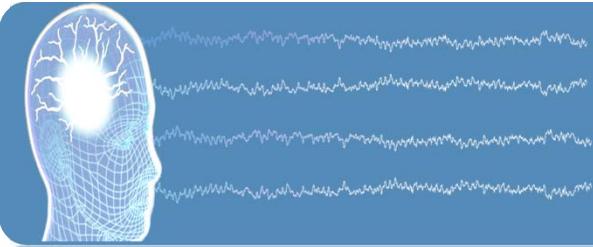


مثال: آنالیز مولفه های مستقل



مثال: آنالیز مولفه های مستقل





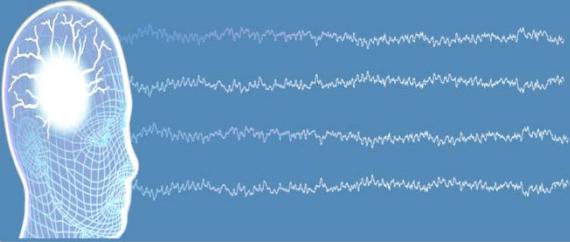
استخراج زیرفضای سیگنال: فرمولاسیون ریاضی مسئله

- دیدگاه دسته دوم روش‌های استخراج زیرفضای سیگنال:

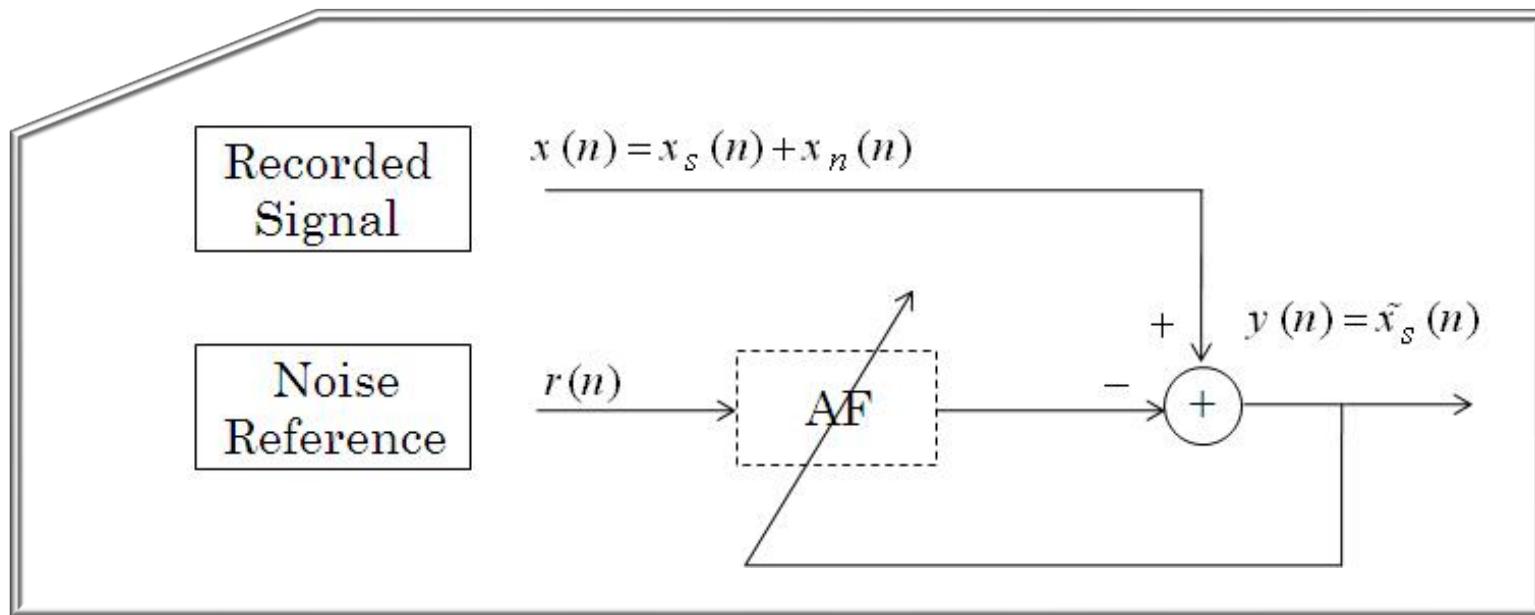
$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}_s(t) + \mathbf{x}_n(t)$$

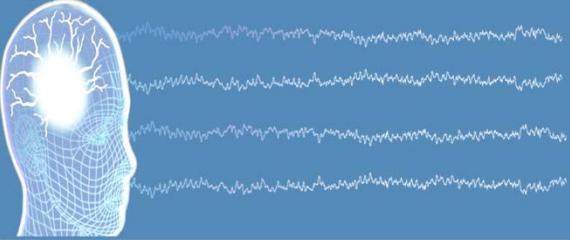
- مانند:
- فیلترهای وفقی (Adaptive Filters)
- مدل‌های پارامتری (AR, ARX, ARMAX)
- تجزیه ویولت

روش‌های استخراج زیرفضای سیگنال: دیدگاه دوم



○ فیلترهای ورقی (Adaptive Filters)



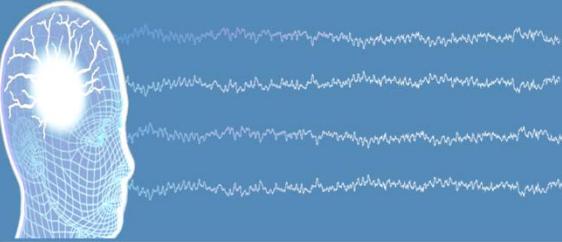


روش‌های استخراج زیرفضای سیگنال: دیدگاه دوم

○ مدل‌های پارامتری

$$\mathbf{x}(n) = \sum_{i=1}^p \mathbf{A}_i \mathbf{x}(n-i) + \sum_{j=1}^q \mathbf{B}_j \mathbf{u}(n-j) + \sum_{k=1}^r \mathbf{C}_k \mathbf{w}(n-k) + \mathbf{w}(n)$$

روش‌های استخراج زیرفضای سیگنال: دیدگاه دوم



○ تجزیه ویولت

