

符号変調視覚誘発電位脳コンピュータインタフェース

鷺沢研究室 佐藤純一

April 4, 2016

BCI (Brain Computer Interface)

- **脳信号**でコンピュータを操作
 - 重度の運動機能障害を持つ人々のコミュニケーションツール

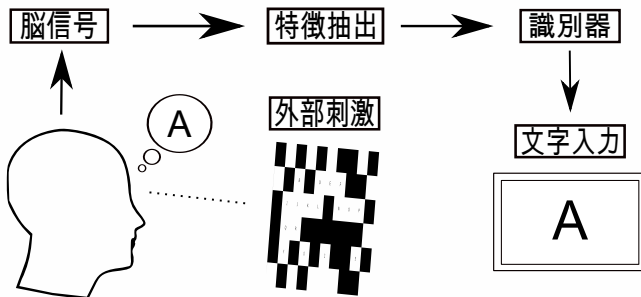


図 1: BCI の流れ

脳信号の種類と特徴

計測

- 侵襲
 - ECoG (Electrocorticography)
 - Single unit recording
- 非侵襲
 - **EEG**
 - MEG
 - f-MRI

脳信号の種類

- 聴性定常状態誘発反応 (Auditory Steady State Response; ASSR)
- 事象関連電位 (Event Related Potential; ERP)
- **視覚誘発電位** (Visual Evoked Potential; VEP)

視覚誘発電位 (VEP) に基づく BCI

- t-VEP : time-modulated VEP
- f-VEP : frequency-modulated VEP
- c-VEP : **code-modulated** VEP

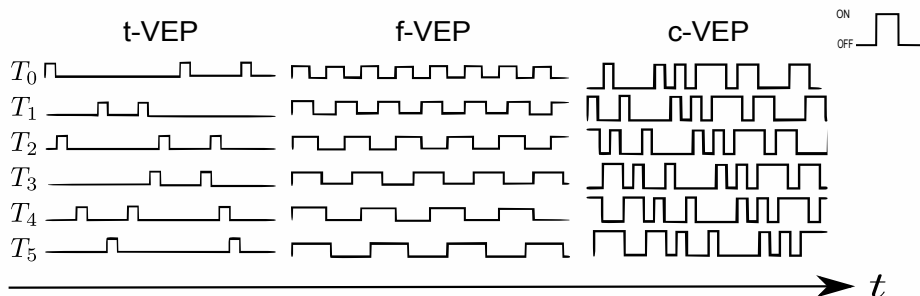


図 2: 視覚誘発電位の種類

- PN 系列 (Pseudo Noise; 擬似雑音系列) を利用
- t-VEP や f-VEP に比べて高い情報転送量 (ITR)

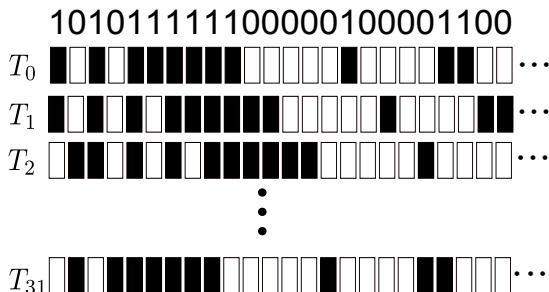


図 3: PN 系列と視覚刺激の対応

識別方法：テンプレートマッチング

テンプレートの作成

- ① 訓練信号の加算平均によりテンプレート $T_0[t]$ を作る
- ② $T_0[t]$ の巡回シフトで全テンプレートを作る

$$T_k[t] = T_0[t - (\tau_k - \tau_{k_0})]$$

識別：相関係数

$$\arg \max_{k=1,\dots,K} \frac{\sum_{t=0}^{T-1} T_k[t]x[t]}{\sqrt{(\sum_{t=0}^{T-1} T_k[t]) (\sum_{t=0}^{T-1} x^2[t])}}$$

- ① 自動再送要求 (ARQ) の c-VEP への適用
- ② 短周期変調符号 c-VEP
- ③ 空間フィルタによるチャンネル選択
- ④ 時空間逆フィルタ
 - 次回のゼミから詳しく説明

研究 1. ARQ の適用

- ERP は加算平均を行うと識別精度が向上する
- 最適な加算平均の回数を推定したい
 - c-VEP の信頼度が閾値を超えるまで測定を続ける

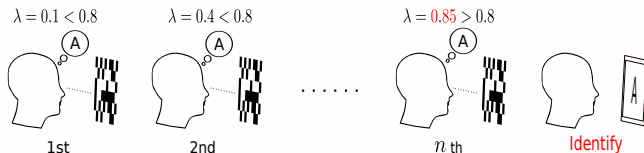


図 4: 信頼度を用いた自動再送要求

研究 1. ARQ c-VEP 手法

- テンプレートマッチングの相関係数を特徴ベクトルとする
 - ソートした相関係数列 $\mathbf{r} = [\rho_{\min}, \dots, \rho_{\max}, 1]$
- ラベル
 - 識別成功 $t_n = 1$
 - 識別失敗 $t_n = 0$
- ロジスティック回帰により信頼度 p を求める

$$p = \frac{1}{1 + \exp\{-\mathbf{w}^\top \mathbf{r}\}}$$

研究 2. 短周期変調符号 c-VEP

- 従来の c-VEP の符号長は 63-bit
- 短い符号では入力時間が短くなる

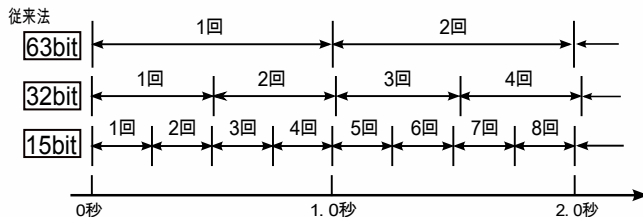


図 5: 符号長の比較

研究3. 空間フィルタによるチャンネル選択

- 空間フィルタによって多チャンネル信号の性能を改善できる
- $x_i[t]$: i チャンネルの c-VEP ($i = 1, \dots, M$)

$$y[t] = \sum_{i=1}^M w_i x_i[t]$$



図 6: 多チャンネル EEG

研究 3. 従来手法 CCA (Canonical Correlation Analysis)

- \mathbf{X}_k : k 番目の訓練行列
 - (i, n) 要素: $x_i[n]$
- $\mathbf{R} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \mathbf{X}_k$
- CCA 空間フィルタは以下の最適化問題を解く

$$\max_{\mathbf{w}_x, \mathbf{w}_r} \frac{\sum_{k=1}^K \mathbf{w}_x^\top \mathbf{X}_k \mathbf{R}^\top \mathbf{w}_r}{\sqrt{\sum_{k=1}^K \mathbf{w}_x^\top \mathbf{X}_k \mathbf{X}_k^\top \mathbf{w}_x \cdot \mathbf{w}_r^\top \mathbf{R} \mathbf{R}^\top \mathbf{w}_r}}.$$

- 加算平均信号 \mathbf{R} に対する最適化
- 目的変数に c-VEP の性質を取り入れることで性能を向上させる

研究 3. 提案手法 CCF (Correlation of Correlation Function)

- c-VEP の相関関数と PN 系列の相関関数の相関を最大化する

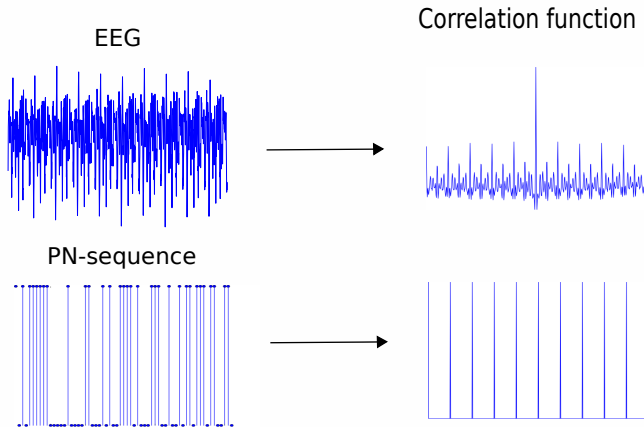


図 7: c-VEP の相関関数と PN 系列の相関関数

研究 4. 時空間逆フィルタ

- 空間フィルタの時空間拡張
- ニューラルデコーディング
 - もとの PN 系列に逆変換を行う

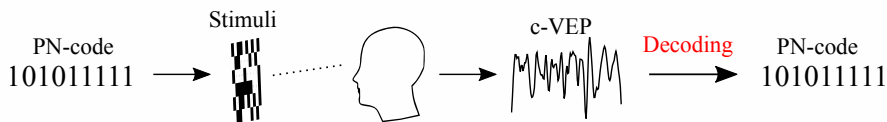


図 8: 逆フィルタ

- 逆フィルタ
 - RNN (Recurrent Neural Networks)
 - LSTM
 - ニューラルネットの多層化
 - 32-bit, 15-bit, かさみ系列の適用
 - SSVEP, P300 を用いた BCI 等への応用
- 教師なし c-VEP
- 非同期 c-VEP
- Open BCI