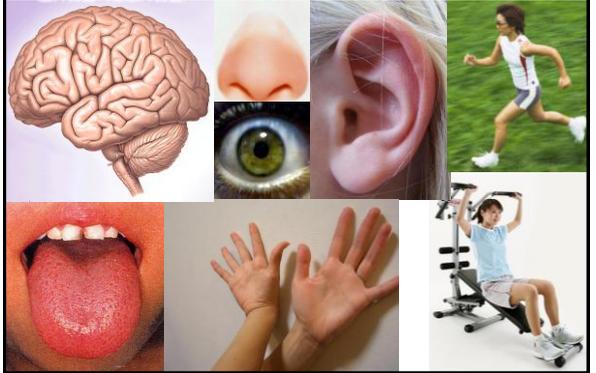


インタラクティブシステム特論 | (1)

梶本裕之
人間コミュニケーション学科
kajimoto@hc.uec.ac.jp
http://kaji-lab.jp

自己紹介. 研究分野=インタフェース

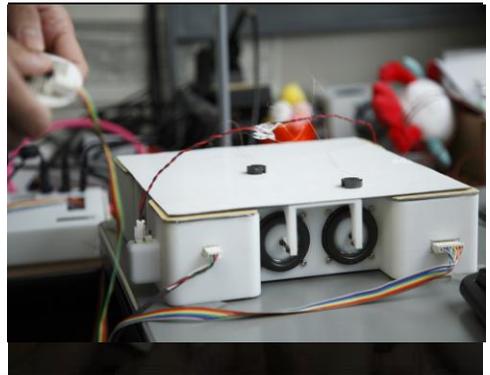


研究室紹介(1) 触れ, 動くアイコン



マルチタッチインタフェース: 実世界指向の好例
次のステップ: 本当に触れ, 動くアイコン

触れ, 動くアイコン(結果)

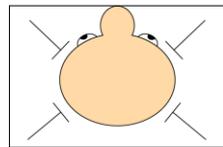


研究室紹介(2) ハンガーインタフェース



- 側頭部圧迫によって引き起こされる頭部の回旋
- ナビゲーションインタフェースの可能性

ハンガーインタフェース(結果)



- 側頭部圧迫装置により検証
- 痛みのない軽い刺激で生起

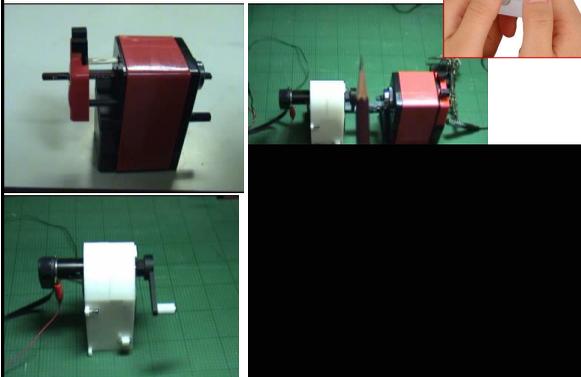
研究室紹介(3) 鉛筆を削るインタフェース



∞フチフチ (株) ハンダイ

- 音楽：音だけでコンテンツとして成立
- 触楽：触覚だけでコンテンツは成立する

鉛筆を削るインタフェース(結果)

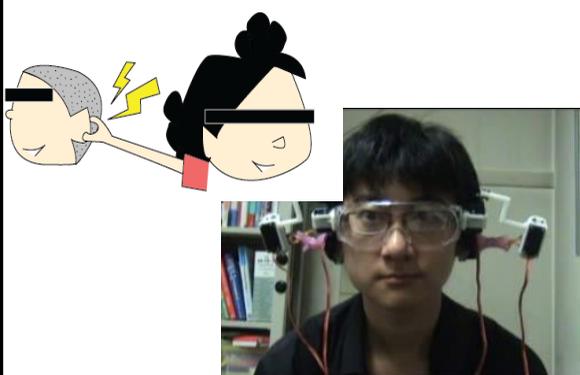


研究室紹介(4) 耳牽引型ナビ

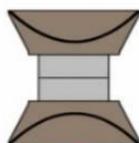


- 歩行ナビゲーションの現状：直感性に乏しい
- 多くのウェアラブル装置：現実性に乏しい

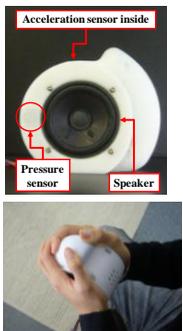
耳牽引型ナビ(結果)



研究室紹介(5) てのひらの触覚



Users hold speakers with their hands and an elastic band around the speaker cone seals the air between the palm and the cone.



音響スピーカによる超高品位触覚

てのひらの触覚：
真の「肌と肌が触れ合う」コミュニケーションへ

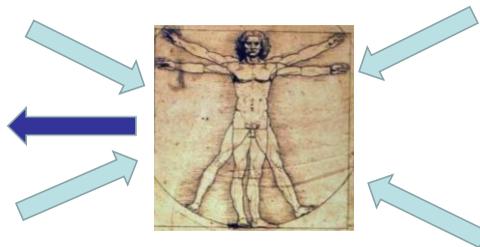
Application ① ② ③

Living Matter

ヒューマンインタフェースとは？

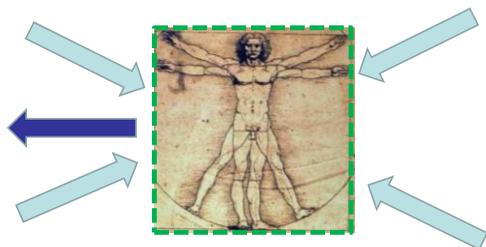
Human Interface 人の境界

我々は認識し、行動する



我々は**感覚**と**運動**によって世界と相互作用する
認識 = 感覚(+脳)
行動 = 運動(+脳)

ヒューマンインタフェース: 人と世界の境界



認識と行動の境界を見張ることで、
我々に都合の良い世界を作ることができる

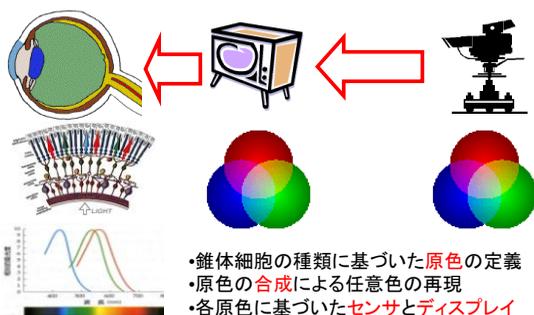
現実世界の改変



CANON Contact-Water

最適な情報提示とは？

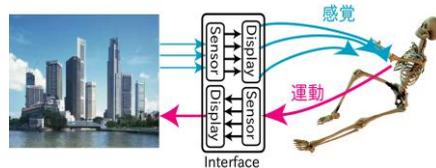
視覚の場合



- 錐体細胞の種類に基づいた**原色**の定義
- 原色の**合成**による任意色の再現
- 各原色に基づいた**センサ**と**ディスプレイ**

インタラクティブ技術特論

インタフェース研究に必要な知識は？



- 生理学的・心理学的知見
- センシング技術
- ディスプレイ技術

特にこの講義では、生理学的、心理学的な知識を背景として、
センシング、ディスプレイ技術がどうあるべきかを論じていきます。

インタラクティブ技術特論

講義目次(仮)

- 感覚総論
- 人間の視覚, 視覚センシング, ディスプレイ技術
- 人間の聴覚, 聴覚センシング, ディスプレイ技術
- 人間の触覚, 触覚センシング, ディスプレイ技術
- 人間の運動, 体性感覚ディスプレイ技術
- 拡張/複合現実感とウェアラブル技術

インタラクティブ技術特論

成績の評価1:発表(必修)

Your PowerPoint Presentation is required.

- 英語の論文を一つ読み, その内容を発表.
(読む候補はこちらで用意します)
Read a paper and do presentation.
(candidate papers will be announced)
 - 今のところ発表10分, 質疑5分.
- 発表は全員で評価
The presentation is evaluated by all attendees
 - 1. 発表内容に対する理解度
 - 2. 発表用資料(パワーポイント)の分かりやすさ
 - 3. 発表の分かりやすさ
 - 4. 質問に対する受け答え
 - 5. 総合的な印象



インタラクティブ技術特論

成績の評価

Evaluation

- 発表(Presentation): 50点
- 出席(Attendance): 50点

インタラクティブ技術特論

日程

- 4/8 講義
- 4/15 講義
- 4/22 講義
- 4/29 昭和の日
- 5/6 振り替え休日
- 5/13 講義
- 5/20 講義
- 5/27 講義
- 6/ 3 講義+発表論文振分
- 6/16 講義
- 6/10 発表
- 6/17 発表
- 6/24 発表
- 7/ 1 発表
- 7/ 8 発表
- 7/15 発表
- 7/22 予備日

インタラクティブ技術特論

English version of the class

- “Introduction to Interactive System”
 - 国際科目(international class) for undergraduate foreign students, but the contents are the same.
 - Thursday, 16:15-17:45
 - First day: 4/16
- If you prefer English version, please do the following.
 - Officially register the “Interactive System”,
 - Attend the国際科目(international class),
 - Email kajimoto@hc.uec.ac.jp
 - Do presentation at the “Interactive System” in either English or 日本語 (subject to change)

インタラクティブ技術特論

講義目次(再)

- **感覚総論**
- 人間の視覚, 視覚センシング, ディスプレイ技術
- 人間の聴覚, 聴覚センシング, ディスプレイ技術
- 人間の触覚, 触覚センシング, ディスプレイ技術
- 人間の運動, 体性感覚ディスプレイ技術
- 拡張/複合現実感とウェアラブル技術

インタラクティブ技術特論

どうやって感覚の研究を行うか？

我々が「どう感じているか」を計測する必要

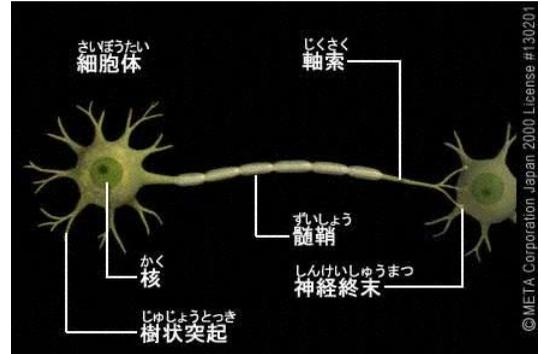
具体的には：**物理的な刺激⇒感覚生成**の対応を計測

手段は3つ.

- 神経活動を調べる ⇒ 神経活動計測
- 被験者に回答させる ⇒ 心理物理計測
- 脳活動を調べる ⇒ 脳機能計測

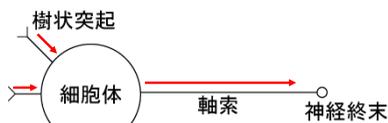
インタラクティブ技術特論

神経細胞(ニューロン)について



インタラクティブ技術特論

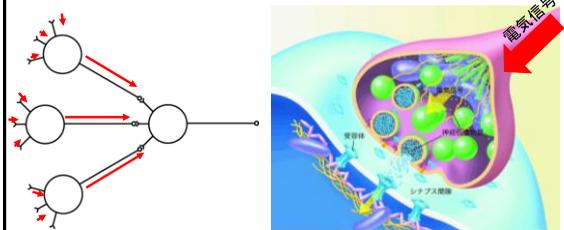
神経細胞(ニューロン)の構造



- 樹状突起: 入力
- 細胞体: 演算
- 軸索: 出力ケーブル
- 神経終末: 出力

インタラクティブ技術特論

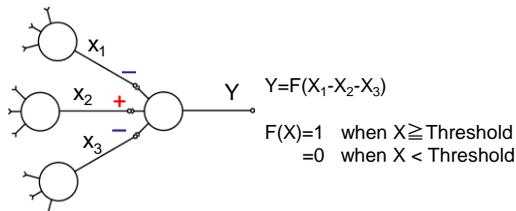
シナプス



- 神経間の接続: 20nm程度の「シナプス間隙」
- シナプスでは電気信号を化学物質の信号に変え、次の神経に情報を伝達(神経伝達物質)
- 伝達は「一方向」
- シナプスでの神経伝達速度: 0.1~0.2ms

インタラクティブ技術特論

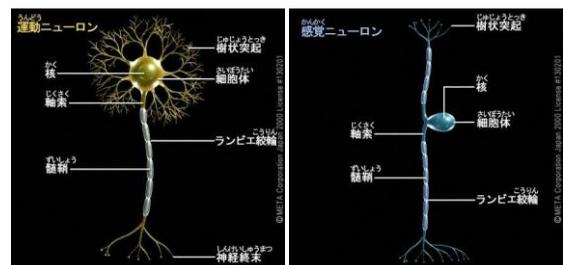
興奮性シナプス, 抑制性シナプス



- 細胞体: 積分器
- 興奮性シナプス: プラス入力
- 抑制性シナプス: マイナス入力
- シナプスの係数変化=学習

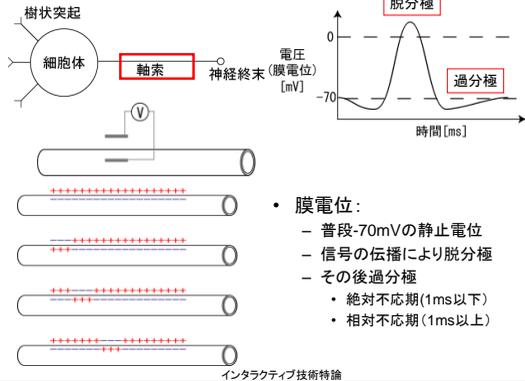
インタラクティブ技術特論

運動神経と感覚神経

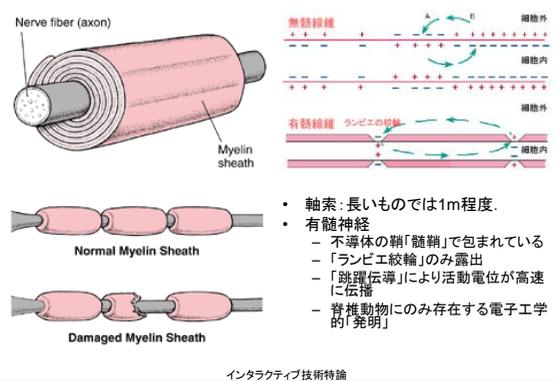


インタラクティブ技術特論

軸索について: 信号の伝達



軸索について: 有髄神経と無髄神経



神経伝導速度

髄鞘	分類名	直径(μm)	伝導速度(m/s)	備考
有	Aα	15	100	運動神経の多く
	Aβ	8	50	感覚神経の多く
	Aγ	5	20	筋運動繊維
	Aδ	3	15	痛覚の一部
無	C	0.5	1	痛覚

- 直径が太いほど伝導速度が速い
- 無脊椎動物は無髄神経⇒極端に太い神経
 - 例) イカの巨大軸索(直径約0.5mm)



インタラクティブ技術特論

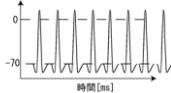
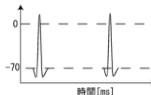
(参考) 神経伝導速度検査と糖尿病



インタラクティブ技術特論

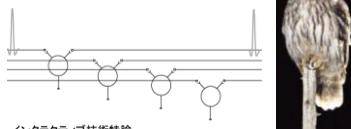
感覚神経におけるコーディング

- 発火**頻度**コーディング
 - 刺激の強さ⇒受容器の発火頻度
 - 単発の活動電位には意味が無い



- 発火**タイミング**コーディング
 - 単一神経パルスの「タイミング」に情報あり.

(例) 両耳間時間差検出による音源定位



インタラクティブ技術特論

心理物理実験

インタラクティブ技術特論

心理物理実験

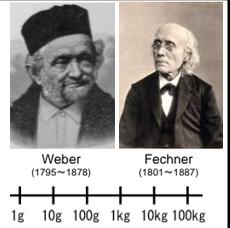
- 心理物理実験:
「物理的な刺激」を用意し、人の感覚量および反応の法則について実験的に明らかにする。
- つまり「物理量(P)」と「感覚量(S)」の関係を知りたい。
- Weberの法則(1834):人間の感覚量に関する最も基本的、普遍的な法則
 - 異なる重さの物体を比較する心理物理実験
 - 「識別可能な差」が生じるのに必要な重量の最小差 ΔP を測定。(=弁別閾)
 - P=30gに対しては $\Delta P=3g$
 - P=3kgに対しては $\Delta P=300g$
 - ...



インタラクティブ技術特論

Weber-Fechnerの法則

- $\Delta P/P = C$ (一定)
 - つまり「感覚量」Sにとつて、「目盛」 ΔS は $\Delta S = C_1 \Delta P/P$ で定まる。
- 両辺を積分して
 $S = C_2 \log(P/C_1)$
 - C_2 は「閾値(Threshold)」, 刺激がこれ以下だと感覚を生じない値



- 身近な応用例:
 - オーディオボリューム (Aカーブ型可変抵抗)

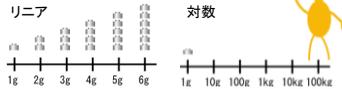


インタラクティブ技術特論

(参考)ダイナミックレンジとWeber-Fechnerの法則

なぜ**対数**で表現されているのか? =なぜ**リニア**ではいけないのか?

人間が区別できる「段階」は有限。(神経パルスコーディング)
例えば6段階だとすると、



対数にすることで測定範囲 (=ダイナミックレンジ)が広がる。

ダイナミックレンジ:
最小値と最大値の比率をdB(デシベル)で表したものを、
 $dB = 10 \log_{10} B/A$

(例)
市販のCCDカメラ: 20dB~30dB
人の目: 80dB(星も太陽も見える!)



インタラクティブ技術特論

心理物理実験: 実験手法

大きな目的: 物理世界と脳内世界の対応関係を知る

- かみくだくと...
- 同じ種類で強さの異なる二つの刺激を区別できる「**弁別閾**」, つまり目盛の荒さを知りたい
- 種類の異なる二つの刺激を同じと思える「**主観的等価点**」を知りたい



どれだけ重さが違えば区別できる?
= **弁別閾**

右手に持った重りと同じと感じる左手の重さは?
= **主観的等価点**

よく使われる手法: 「調整法」「極限法」「恒常法」.

インタラクティブ技術特論

調整法 (Method of Adjustment)

提示された刺激の大きさを**被験者自身が変化**させて、納得のいく大きさにする方法
• 主観的等価点を**最も簡便**に(早く)測定できる。
• 弁別閾の測定には向かない

ケーススタディ: 錯視の測定法



カフェウォール錯視: 水平のはずの横線が右下に傾いて見える

知りたいこと: 「主観的等価点」つまり「何度傾いているように感じられるのか」

インタラクティブ技術特論

極限法 (Method of Limit)

増加または減少する比較刺激を実験者があらかじめ定めておき、順番に提示して被験者に比較させ、反応を選択させる方法。

- 選択枝の種類:
 - 大, 小のみ: 二件法
 - 大, 同, 小: 三件法
- 最初に回答が変わった点: 上/下弁別閾
- 二つの弁別閾の平均: 主観的等価点
- 二つの弁別閾の距離の半分: 弁別閾

ケーススタディ: 錯視の測定法



ミュラー・リヤー錯視: 同じ長さのはずが矢印によって短く感じる

知りたいこと:

- 「主観的等価点」: つまり「同じ長さと感じる長さ」はどのくらいか
- 「弁別域」: そもそも「長さ」をどのくらい正確に把握しているのか

インタラクティブ技術特論

恒常法(Method of Constant)

- 提示される刺激は極限法の場合と同様にあらかじめ決められる
- 提示の順序はランダム
- 数段階(通常は4〜7段階)に変化する刺激をそれぞれ数十回、ランダムに提示し、それぞれに対する反応を求める。
- 各刺激における反応の「**確率**」を求める
- 反応が50%になる点をグラフの**フィッティング**によって求める。これが主観的等価点となる。
- 例えば反応が75%になる点を求め、これと主観的等価点との差を「75%弁別閾」と呼ぶ。

理解が難しいのでケーススタディで...

インタラクティブ技術特論

心理物理実験のまとめ

- 目的:
 - 物理世界と感覚世界のモノサシの違いを測る。
 - 感覚ディスプレイデバイスの評価をする。
- 方法
 - 「調整法」「極限法」「恒常法」(他にも色々あります)
 - 「弁別閾」と「主観的等価点」を計測
- 法則
 - 弁別閾, つまり「目盛」に関する普遍的な法則としてWeberの法則がある。
 - Weberの法則を変形することでWeber-Fechnerの法則となる。感覚の「目盛」がlogスケールであることを示している。

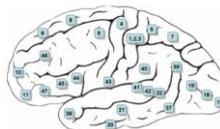
インタラクティブ技術特論

脳機能計測

インタラクティブ技術特論

脳機能計測

- 脳機能局在論:
 - 20世紀初頭:ブロードマンの脳地図(細胞の組成から分類)
 - 第一次大戦:銃の性能向上により局在化した損傷例が多く出現
 - 1933年:ペンフィールド. てんかん患者の開頭手術時に脳電気刺激. 記憶がよみがえる, 感覚が生じる等の現象を発見
 - 1940年代:ロボトミー手術:前頭葉と感情の関係
 - 1960年代:X線CTにより, 精細な断層像を得る⇒損傷と疾患の関係がより明らかに



ブロードマンの脳地図:
大脳皮質の神経細胞を染色して可視化, 組織学的に均一である部分をひとまとまりとして52個の領域に分類

術特論

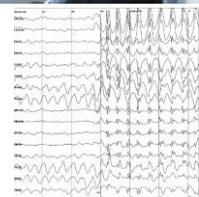
人の脳機能計測

- 「**機能**計測」なので, 何らかの作業中に測定し, その作業に使われている部位を測定する。
- 非侵襲は必須
- 最先端の計測技術が投入
 - 電気的活動の計測
 - EEG(脳波), 1929~
 - MEG(脳磁図), 1972~
 - 血流の計測
 - fMRI(機能的MRI), 1973~
 - PET(陽電子断層法), 1965~
 - NIRS(近赤外分光法), 1994~
 - アクティブな計測
 - 磁場刺激

インタラクティブ技術特論

EEG (脳波)

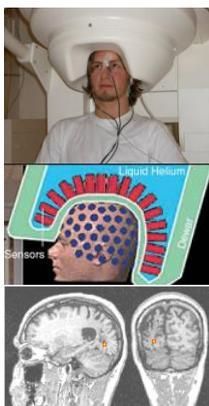
- EEG: Electroencephalogram
- 21個(〜60個)の電極を頭皮に配置
- 長所
 - 他の手法に較べ極めて安価
 - 時間分解能に優れる(ms)
- 短所
 - 空間分解能が低い
 - 高周波成分を検知しにくい
 - 頭皮との接触不良を生じやすい
 - 脳の「表面」の電位を測定できるが, 脳の「内部」の活動を知ることには出来ない
- 例えば感覚情報処理の「順序」を時間経過から知ることが出来る。



インタラクティブ技術特論

MEG = 脳磁図

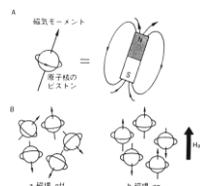
- MEG: Magnetoencephalography
- 脳波と同様に、**神経活動群**を直接計測
- 脳波と異なり、活動電流によって生じる「**磁場**」を測定する。
 - 極めて微弱な磁場計測: 超伝導技術が用いられる (SQUID: Superconducting Quantum Interference Device)
 - 10^{-13} Tesla \Rightarrow 地球の磁場: 10^{-5} Tesla. つまり地磁気の10の8乗分の一程度
- 利点
 - 脳波と同様に、時間応答性に優れる
 - 磁場は脳波と異なり「頭蓋骨を貫通する」、つまり深部の活動も計測できる。
- 欠点
 - 磁場源推定のために極めて難しい「逆問題」を解かなければならない (通常は電流源が「一箇所」であると仮定して解く)



インタラクティブ技術特論

MRI = 核磁気共鳴画像法

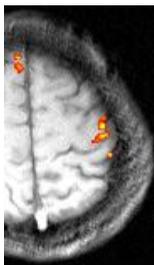
- MRI: Magnetic Resonance Imaging
 - 強い静磁場の中に水素原子核(プロトン)をおき、縦方向に整列させる。
 - 磁場に比例したある周波数の電波を照射すると、プロトンが横向きに倒れる(共鳴現象)。その後外部の電波を切ると、電波を出しながらプロトンが戻る(緩和現象)。緩和の速度は、組織により異なる。
 - この電波を分析し、緩和の速度を知ること、白黒画像を得る。
- 利点 (X線CTとの違い)
 - 放射線の被曝が無い
 - 骨による吸収が無い
 - 任意断面を得ることが出来る
- 欠点
 - 強力な磁力(数T)を使うため、金属を持ち込めない
 - 強磁場の身体への影響が未知数
 - 一回の測定に数分かかる
- 現在の脳「形状」計測の主流



インタラクティブ技術特論

fMRI = functional MRI

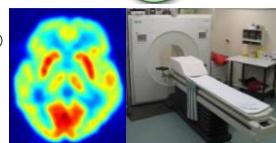
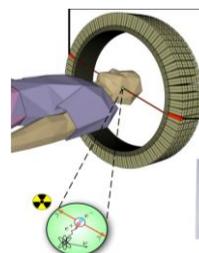
- MRIの拡張。脳形状計測ではなく、脳「機能」を計測できるようにしたもの
 - ある作業により、脳内の血流に変化(20~40%増加)
 - \Rightarrow その部位には酸化ヘモグロビンが増える(酸素消費量は5%程度しか増加しない)
 - \Rightarrow 水素原子(プロトン)の磁化率が低下
 - 元画像との差分を取ると、その作業時に活動する部位が同定できる。
- 利点
 - 場所が完全に同定できる
 - このため、現在の脳機能計測の主流
- 欠点
 - 数分程度の時間がかかる



インタラクティブ技術特論

PET(陽電子断層法)

- PET = Positron Emission Tomography
 - 陽電子崩壊するトレーサ物質(O^{15} など)を投与する
 - トレーサ物質は体内で崩壊し(陽子 \Rightarrow 中性子+陽電子)、陽電子を放出。
 - 陽電子は周囲の電子と対消滅し、このとき電子の質量に等しいエネルギーの光(γ 線)を二方向に出す
 - 検出器は二つ同時に反応する、この二つを結ぶどこかで陽電子崩壊が生じたことになる。
 - CTの原理により断面画像が得られる
 - やはり血流の増加をとらえることで脳機能計測が可能となる。
- 利点
 - fMRIよりは測定時間が早い(数秒)
- 欠点
 - 放射性物質の投与が必要
 - MRIよりも解像度が低い



インタラクティブ技術特論

NIRS(近赤外分光法, 光トポグラフィ)

- NIRS=Near InfraRed
 - 生体組織に対して透過性の高い近赤外光(700nm~1000nm)を照射し、反射の度合いからヘモグロビンの量を測定する。
 - 直感的に、赤い血: 酸素を多く含む、青い血: 酸素を含まない、この違いを測定
 - 日本発の技術(日立)
- 利点
 - 非侵襲、拘束が少ない、手軽
- 欠点
 - 空間分解能が低い、
 - 血流測定のため時間分解能はやはり数秒程度



インタラクティブ技術特論

(参考)

- 「赤外で血流を測定」の原理をインタフェースとして利用できないか?

- 三木健, 野村宜邦, 安藤英由樹, 前田太郎: 「指の屈曲を検出する爪センサの開発-バラサイトヒューマンの研究第8報-」, 日本バーチャルリアリティ学会 第6回大会論文集, pp.147-148, 2001.



平常時 押し付け 横ずれ

インタラクティブ技術特論

人間の脳機能計測まとめ

	計測対象	空間分解能	時間分解能
EEG(脳波)	電氣的活動	低	高
MEG(脳磁図)	電氣的活動	低	高
fMRI(機能的MRI)	血流	高	低
PET(陽電子断層法)	血流	中	中
NIRS(近赤外分光法)	血流	中	中

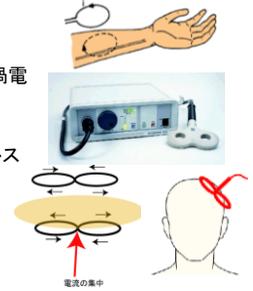
インタラクティブ技術特論

磁気刺激

「計測」によって脳機能を知るのではなく、
脳を直接「刺激」したときに何が起きるか観察し、機能を知る。

• 磁気刺激

- 強力な磁気パルスを与える
- 逆方向の磁場を生じる方向に渦電流が生じる
- 電流により神経が活動する
- コイルの形状によって磁気パルスを局所化可能(1cm四方程度)
- 特に大脳運動野を刺激



インタラクティブ技術特論

サルの脳機能計測

• 侵襲的であっても良い

計測針による電位計測
感覚、運動に関する知見のほとんどがサルの脳機能計測によって得られた
膜電位感受性色素
大面積を、画像の解像度で、高い時間分解能で観察可能。ただし表面のみ。

• 人も侵襲的でよい場合

脳外科手術の前の検査として、計測針による電気刺激
記憶領域：過去の記憶の想起
感覚野：担当する感覚の生起

インタラクティブ技術特論

参考：脳制御インターフェース

• Brain-Computer-Interface (BCI):

- ここ5年で急成長している研究分野
- 主に脳波を使用。高速応答性を利用。
- 福祉用途。筋萎縮性側索硬化症(ALS)など
- 現在のレベル：マウスカーソルを動かす、Yes/Noを出力
- サルを用いた埋め込み電極による研究が盛ん。



インタラクティブ技術特論

今日のまとめ：感覚総論

- 感覚の測定、定量化は、ディスプレイ設計に必須
- 心理物理実験による測定：
 - スタンダードな計測手法(調整法、極限法、恒常法)
 - よく知られた法則(Weber-Fechnerの法則)
- 脳機能計測による測定：
 - 最先端の技術が投入されている
 - 時間、空間分解能が共に高い計測手法は未だに無い
 - ほとんどの知見はサルの脳の侵襲計測で得られた

• インタフェース設計者としては...

人の脳機能計測は未だ未熟。ディスプレイの評価にまで利用可能であることは稀(利用している場合もある)

心理物理実験は感覚の定量化としては最も強力な武器。
ぜひきちんとした心理物理実験をするように心がけましょう。

インタラクティブ技術特論