

Lezione 17

12/05/2020

Visione artificiale

Le patologie neurodegenerative della retina sono la principale causa della perdita delle funzionalità visive.

Mln di persone soffrono di malattie oculari che possono portare alla cecità:

Ci sono parametri precisi per capire se la tal persona necessita del tal ausilio.

Obiettivi:

La percezione artificiale non può garantire i dettagli e l'alta qualità della visione naturale.

L'obiettivo, nel breve termine, è consentire al paziente di recuperare una > autosuff. motoria.

Il ripristino della visione normale resta il traguardo degli studi nel settore dei sistemi impiantabili.

Ob primario: Miglioramento delle attività quotidiane e di mobilità →
→ Cercare di rendere autosuff. il paziente

Ob secondario: Miglioramento significativo dell'acuità visiva →
→ Parametro misurabile e quantificabile

In numeri:

Per l'OMS sulla Terra vivono 285 mln di persone con handicap visivo grave:

39 mln ciechi, 246 mln ipovedenti

In Italia si stimano: 362 mila ciechi e oltre un mln di ipovedenti.

Le def. legali della riduz. della funzional. visiva sono le def. principali dell'acuità visiva

Cieco: acuità visiva corretta nell'occhio migliore e inferiore a $\frac{1}{20}$

Ipovedente: acuità visiva compresa tra $\frac{3}{10}$ e $\frac{1}{20}$

In Italia il concetto legale di cecità-ipo visione è:

- Prendere in esame non solo lo stato della visione centrale, ma anche lo stato della visione periferica o campo visivo
- La riduzione del campo visivo è invalidante

Le cause principali dei difetti visivi sono:

- Errori di rifrazione per il 43%
 - Cataratta non curata per il 33%
 - Glaucomi per il 2%
 - Degenerazione maculare dovuta all'età
 - Retinopatia diabetica
 - Opacità corneale
- } 1%

Le protesi visive

Le protesi visive rientrano nella categoria degli apparati medici che interfacciano direttamente strumenti elettronici con il Sist. Nerv.

Le protesi visive si basano su 3 principi fondamentali:

- 1) La luce può essere impazzata da impulsi elettrici per stimolare la percez. della visione
- 2) La cecità dovuta alla degeneraz. della retina non influenza la trasmis. del segnale dalle cellule gang. retinali alle vie visive
- 3) La stimolaz. elettrica delle vie visive e della corteccia può evocare la percez. della visione anche nei sogg. ciechi

L'idea di base:

Capacità di poter stimolare la parte sana della strut. visiva al fine di generare la sensaz. di pt. discreti di luce chiamati fosfemi

- Stimolaz. in qualsiasi tratto del cammino visivo: retina, nervo ottico, NGL o Corteccia striata

L'idea di ripristinare la vista tramite stimolaz. elettrica nasce nel 1929 da Forestera che scoprì che stimolando elettricam. il polo occipitale di un individuo sottoposto ad anestesia locale, il soggetto era in grado di descrivere la presenza di pt. di luce.

Successivam. ci sono stati tanti altri studi

Generazione dei fosteni

Capacità del sist visivo nel migliorare la camera. tra i fosteni evocati e la percez. dell'img reale.

Si richiede un tempo di adattamento e riabilitaz. che permetta al paziente di migliorare le sue capacità nella percez. dell'img

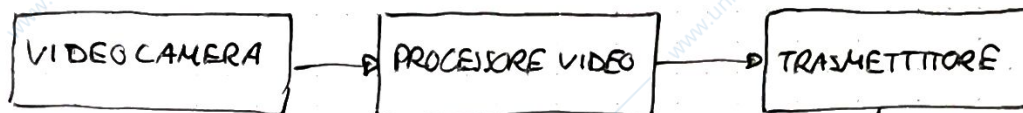
[Esempio nelle slide] percezione lettera E

Si richiede dunque al paziente una parte attiva nel processo di riabilitazione della cap visiva

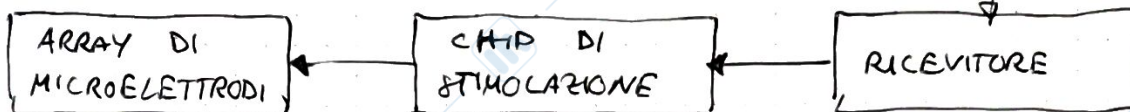
Struttura di una protesi uvriva

La strutt tipica è organizzata in due unità distinte:

1) Unità esterna



2) Unità impiantata (aspetti da considerare: distanza e biocompatibilità)



① Videocamera: in genere di tipo CMOS o CCD priva del solito consumo e della buona qualità

Processore video: f di elaborare l'img. eliminando le info superflue ed amplificando quelle utili.

Il segnale in uscita deve essere prefiltrato per evitare aliasing.

I processi svolti dal processore:

- Convoluzione: simulaz dell'operaz. di integraz. spaziale e temporale dell'info usata da alcune nei diversi strati della retina

- Aumento del contrasto e il riconoscimento dei contorni, o edge detection, con lo scopo di intensificare i pt. dell'img. in modo da renderla + semplice e + facile da rappresentare

- La riduzione dei dati e del rumore, realizzata effettuando la trasformata di Fourier del segnale ed eliminando le ν contenenti info inutili.

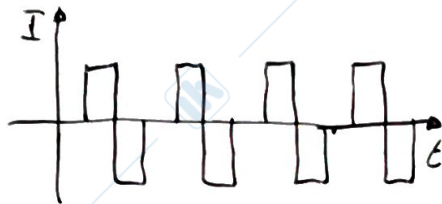
Il trasmettitore

Trasmette il segnale e trasferisce la pot. necessaria per l'alimentazione del chip. L'impianto
La trasmissione avviene grazie a siti a radio freq., comunicazione ottica con fibre laser
o per mezzo di cavo conduttore

Al ricevitore giunge l'info ^{de} codificata dal trasmettitore

Il chip di stimolazione interna genera impulsi elettrici da trasferire agli elettrodi:
gli impulsi devono avere ampiezza, ν e durata tali da suscitare una sensazione usiva nel paziente, ma tali da non danneggiare, a causa del riscaldamento, i tessuti circostanti

Per evitare la dissoluzione dell'elettrodo per via delle correnti ioniche, si preferisce usare impulsi bilanciati, simmetrici e compensati in modo da ottenere che la corrente media sia nulla.



La microstimolazione elettrica del tessuto nervoso avviene attraverso array di microelettrodi; interfaccia di connessione fra i neuroni e i circuiti elettronici.

È necessario che essi siano biocompatibili a lungo termine e di forma tale da non provocare eccessivo stress meccanico al sito d'impianto.

Tutte le protesi usive condividono un comune set di componenti di sistema

La difficoltà significativa risiede nella localizzazione dell'interfaccia verso il SN.

Il sito applicativo dell'impianto di elettrochim. dipende dalla patologia e dalla regione del percorso uvrario compromessa

Protesi preferite per la stimolazione

Sono fondamentali. Lì:

- 1) La retina: la stimolaz. è possibile quando \exists una popolaz. di cell. retinali che possano ancora trasmettere info. Si dividono in: epiretinali, subretinali o supracoroidali.
- 2) Il nervo ottico: la stimolaz. è stata proposta nel 1958. Internamente clinica relativamente semplice, sono infese di studio (le protesi).
- 3) NGU: considerato pt molto favorevole, anche questo in fase di studio.
- 4) Corteccia striata: vantaggi della stimolaz. di V1 vedono nella sua ampia dimensione e al fattore di ingrandimento. Al momento protesi non appropriate per il commercio.

Protesi retiniche

Le 2 principali patologie della retina sono:

- La degenerazione maculare
 - La retinite pigmentosa
- } riduzione perdita della vista

Le cellule fotorecettori della retina sono degenerate fino a perdere la loro f. di trasmissione

Degenerazione maculare (AMD)

Cinudige la parte posteriore della retina (macula).

La macula facilita la visione centrale e permette grande acuità visiva, grazie all'elevato n° di fotorec. che contiene.

Il progredire della malattia porta alla perdita della visione centrale

Retinite pigmentosa (RP)

Descrive un gruppo eterogeneo di distrofie retiniche ereditarie, caratterizzate dalla progressiva degenerazione dei fotorecettori della retina. È quindi una malattia genetica dell'occhio.

Di solito la degeneraz. parte dalla media periferia del fondo della retina (epitelio pigmentato retinico) e avanza verso la macula e la fovea

- L'impianto delle matrici di stimolaz. può essere inserito in 3 posiz. diverse dalla retina:
- Epirettriche: elettrodi piazzati sopra la retina, cioè verso l'interno, sopra le cell. gang.
 - Subrettriche: ^o ^o sotto (dentro) la retina, cioè tra lo strato dei fotorec. e le cell. bipolari.
 - Supracoroidali: elettrodi piazzati tra la sclera e il corioide.

Protesi epirettriche

Nato nella metà degli anni '80

Il progetto prese il nome di MARC

- MARC I presentava un elettrodo-array di $2 \times 2 \text{ mm}^2$ con 25 elettrodi disposti in una griglia 5×5
- La protesi di riferimento attuale è la Argus II

Lezione 18

14/05/2020

Argus II

Apparecchiatura esterna:

Occhiali con telecamera + unità di elaborazione video (VPU) e un cavo
La video camera raccoglie l'img e trasmette al VPU (processore indossato dal paziente)

L'aspetto estetico è sempre importante e gli occhiali sono proprio adatti a migliorare l'impatto con la struttura ext. Sono inoltre un ottimo supporto per la telecamera

Gli occhiali sono connessi al VPU tramite il cavo e hanno un antenna che trasferisce i dati e l'alimentazione necessaria via wireless, attraverso la pelle, fino all'unità impiantata. Qui, il ricevitore inoltra il segnale al chip stimolatore, collegato alla matrice di 60 elettrodi, in prossimità della macula.

Apparecchiatura interna:

Disposti in griglia 6×10 , gli elettrodi misurano $200 \mu\text{m}$ in ϕ e sono distanziati tra loro di $575 \mu\text{m}$

L'attivazione di un microel. equivale alla stimolaz. di centinaia di fotorecettori.

È composto da: griglia di elettrodi, ricevitore e scatola elettronica

La protesi è fissa, l'impianto resterà a vita sul paziente quindi la sicurezza e la resistenza di essa deve essere elevata.

Il software che regola l'elaborazione invece può essere aggiornato manualmente che si hanno nuove migliorie.

Gli impulsi elettrici provenienti dall'array epiretinico bypassano i fotorec. degenerati e stimolano le cellule sane rimanenti della retina

L'info visiva viene trasmessa dalle cellule sane lungo il nervo ottico, fino al cervello, creando la percezione di motivi luminosi in modo coerente con la mappa retinotopica.

Test su Argus II

su circa 30 soggetti tra il 2007 e il 2009

- La percezione della luce è stata verificata in tutti i sogg.
 - 27/28 sogg hanno migliorato le performance di localizzare di oggetti:
 - 16/28 sogg hanno " la velocità del movimento (il campo visivo resta comunque limitato,
 - 22/30 " " provato il riconoscimento di caratteri, di questi 6 hanno migliorato drasticamente di qualità carattere (dal 9,5% al 63,5% di riconoscimenti corretti)
- In tutti e 22, 8 lettere sono state identificate correttamente per il 72,5%, contro il 16,8% con il sistema spento.

Altra protesi epiretiniche: Epi-Ret3

Sviluppata in Germania dalla collaborazione tra università: univ. aachen.

Prevede una componente extra oculare per prelevare il segnale stimolo sempre formata di occhiali + telecamera CMOS e VPU

La parte intracellulare è composta da: il chip ricevitore e la bobina ricevente posizionata nel posto del cristallino insieme al stimulation chip.

Poi c'è una parte flessibile che porta l'informazione agli elettrodi posizionati nella zona foveale. L'array di elettrodi è posizionato al centro della retina →

La trasmissione dell'alimentazione e dei dati avviene mediante accoppiamento induttivo a radio frequenza.

Test su Epi-ret-3

Test in vitro e in vivo hanno mostrato che l'impianto è funzionale ad una d di 25mm fra la bobina trasmittente e ricevente, anche durante il movimento degli occhi.

Durante la stimolazione, sperimentata nel 2007 su 6 pazienti, per 4 settimane, i sogg. hanno riportato una sensazione visiva riuscendo a distinguere pt, linee e archi.

Gli interventi chirurgici di impianto della protesi sono stati condotti con successo evidenziando una tolleranza del sistema biologico al dispositivo, stabile x tutto il periodo della prova.

Impianto subretinale

Un impianto di protesi subretinale ha lo scopo di sostituire i fotorec. della retina persi o danneggiati per mezzo di fotodiodi ed elettodi

Il disp. deve fornire un segnale analogico allo stato delle cell. bipolari, che viene poi elaborato e convertito dagli stati neurali retinici prima che questi lo trasmettano, attraverso il nervo ottico, alla corteccia visiva.

Si considera che il resto della strutt. retinica sia integro (cell. bipolari, gang., orizzont. e amacrine). Condizione fondamentale!!

In questo approccio si impranta un micro componente di silicene, chiamato array di micro fotodiodi dietro alla retina, tra la sclera e lo stato delle cellule bipolari.

La luce incidente e' trasf. in pot. elettrici che stimolano le cell. bipolari a formare la sensaz. visiva. Si bypassano i fotorec. non funzionanti.

Non serve dunque una video camera per queste protesi.

Artificial Silicon Retina (ASR)

E' una protesi che nasce con l'obiettivo di compensare i meccanismi sensoriali e recettoriali dei coni e bastoni danneggiati.

Implantando un array di microfotodiodi che non necessita di alimentazione esterna.

Sono attivati infatti dalla luce solare incidente.

Struttura:

L'array misura 2mm in ϕ e 25 μ m in spessore ed e' composto da 5000 microfotodiodi, ciascuno collegato al proprio elettodo di stimolo.

Vantaggio: possibilita' di impiantare i fotorec. danneggiati senza la necessita' di impiegare una telecamera e sistemi di processam. dati ext (tipico di queste protesi)

Svantaggio: i microfotodiodi, stimolati direttamente dalla luce ambientale, non raggiungono un suff. livello di en. ad attivare i neuroni adiacenti.

La retina richiede una soglia di 10^{-6} A e viene reggente il 10^{-9} A.

Alpha-IMS

3 componenti principali:

- subretinale
- extraoculare (andrebbe a produrre la pot necessaria per far funzionare la catena)
- subdermale

Principio di funzionamento: [img nelle slide] min 30' circa 3° req.

quello nuovo

L'unità subretinale è costituita da una dispense ~~test~~ di array di microfotodiodi con 1600 fotodiodi posti sulla linea.

La sez extraoculare è formata da 22 linee di connessione d'oro per la conness. ext degli elettrodi di rif.

La componente subdermale consiste in un cavo di silicene che arriva fino allo spazio retro uvrizolare, dove è connette con circuiti di controllo che erog. la pot necessaria.

L'array di micro fotodiodi (MPDA) è un chip CMOS sensibile alla luce di dim 3.0×3.1 mm con 1500 elementi, collocati su una lamina poliammidica spessa $25 \mu\text{m}$.

Ognuno dei 1500 agisce indipendentemente.

Ogni elettrodo rilasza un impulso da 1ms \neq ciclo di funzionamento del nist, tipicamente 5 Hz, settabile tra 1 e 20 Hz.

Un secondo array di elettrodi (DS test field) è stato aggiunto per la valutaz. della caratt. elettrodo-interfaccia e per studiare l'efficacia di impulsi di corrente con diff. forme e polarità.

Essenzialmente un'img. è catturata simultaneamente + volte al sec da ~~tutti~~ tutti i fotodiodi.

Le stimolaz ripetitive pixelizzate sono fornite contemporaneamente da tutti gli elettrodi al gruppo delle cell. bipolari adiacenti.

La q. di corrente fornita da ogni elettrodo dipende dalla sensibilità di ogni fotodiodo.

Test clinici

- Test di attività quotidiana
- Set-up di proiezione (60 cm di distanza paziente schermo)
- Target per stimare la risoluzione spatio-temporale

È stata impiantata in 29 pazienti in un trial clinico di 12 mesi.

- 21 partecipanti hanno raggiunto l'ob primario: miglioramento delle atti. quotidiane e di mobilità
- 13 pazienti di questi hanno riportato la ripresa di funzionalità visive
- 25 partecipanti hanno raggiunto l'ob secondario: miglioramento significativo dell'acuità visiva, della percez. della luce e/o di oggetti.

Ha ricevuto il marchio CE nel 2013 e un test avanzato con 1600 pixel e $t(d, v) > 1$ è stato certificato nel 2016.

Vantaggi delle protesi sub retiniche

- La zona subretinale è privilegiata perché - soggetta a reaz. di compatibilità.
- L'impianto non prevede pt di fissaggio nella sclera perché è integrata tra la retina e il corioide
- Potendo sfruttare la corretta relaz. retinotopica tra luce percepita ed elettrodi retinici, il paziente impegna - tempo per saper utilizzare la protesi.
- Il naturale movimento dell'occhio e dello sguardo permette di individuare gli ogg. nella scena.
- Non sono previsti strum. connessi con il uso/bacca perché tutta l'elettronica di stimolaz. è integrata all'interno del corpo.

Ricordiamo che devono essere danneggiati solo i fotorecettori, altrimenti \Rightarrow epiretinica.

Richiami di acuità visiva

Rilevare, registrare e valutare correttamente l'acuità visiva non è banale.

Utilizzare un tipo di simbolo oppure un determinato supporto di presentaz. induce la rivelaz. di dati differenti (anche l'ottotipo scelto e adottato è una variabile importante).

L'acuità di risoluzione \equiv inverso delle dim. angolari minime che uno stimolo deve avere per provocare nel soggetto esaminato una risposta adeguata che ne segnali la corretta percez.

MAR (minimal Angle of resolution) = la + piccola d. angolare alla quale 2 pt o 2 linee possono ancora essere percepiti in maniera distinta.

La distanza angolare considerata nel calcolo (MAR) deve essere quella sottesa da un unico pt o linea, non quella sottesa da un ciclo composto da una banda chiara e una banda scura.



Accutà visiva morfoscopica = identifica la cap. e l'abilità del sogg nel riconoscere determinate forme in relaz a fatt fisici, ma anche a fatt. psichiche (lettere, num, ogg, etc)

Es: non tutte le lettere, a parità di grandezza angolare, presentano le medesime diff di riconoscimento.

Alcuni ottotipi sono stati pensati per un duplice obiettivo: esaminare sogg analfabetici consentendo un'accurata def dell'angolo di visuale.

Le + diffuse e utilizzate figure astratte con componente direz. sono gli anelli di Landolt e le E di Snellen **E**



Gli anelli di Landolt vengono presentati nelle 4 direz ortogonali e viene richiesto di riconoscere la forma e la posizione dell'apertura.

(tabella conversione accutà visiva su slide)

Protesi sopracoroidali

Questi impianti sono posizionati tra la parete posteriore dell'occhio (coroide) e la parte + ext di colore bianco (sclera)

[schema della zona sopracoroidale su slide]

Lo gode di elevata stabilità e sicurezza per l'isolazione dell'impianto

Vantaggi:

- Gli elettodi non sono a contatto con la parte neurale della retina, minore rischio di danneggiamento della retina
- Non interferisce con la restante strutt. dell'occhio e quindi può coesistere con la vitrone retina
- L'intervento chirurg. non richiede di penetrare la cavità vitrea x inserire l'impianto, quindi nessuna incisione corneale, estraz di lenti intra-oculari e intervento nella retina.

Bionic Vision Australia ha sviluppato 3 sistemi:

- Uno a 4k canali
- Uno a 99 canali
- Uno a 24 canali di stimolaz (testato nel 2012 (l'unico)).

Struttura a 24 canali:

Array di elettrodi intraoculari composto da substrato silicico con 33 elettrodi al platino ($\varnothing: 30 \times 600 \mu\text{m}$, $3 \times 400 \mu\text{m}$) e 2 + grandi di ritorno ($\varnothing 2 \text{mm}$)
 Un terzo elettrodo remoto dietro l'orecchio per collegamento con la struttura ext.

Test clinici:

2 test:

- The Basic Assessment of Light and Motion test (BALM):
 Si basa sul riconoscere le forme di luce e il movimento
- Test di Landolt per l'acuità visiva.

Entrambi sono stati presentati al sogg in una stanza buia e usando un PC di una certa dim a una certa dist.

3 soggetti con retinite pig. hanno fatto i test durante 1 anno (2 comini e 1 donna)
 E' stato il primo test e i primi impianti chirurgici.

LOS e' restata sicura e stabile

Il sist e' in grado di generare la visione a tutti i 3 sogg.:

miglioramento sulla localizz. della luce

Il paziente ha migliorat nettamente la sua acuità visiva con un log MAR di 2.35

Il log MAR dell'Argus II era di 1.8 e per Alpha MS e' 1.43; misurato con Landolt.

Dobbiamo sempre tenere conto come i soggetti sono in grado di adattarsi nel tempo alle poteri che influenzano i risultati. Ogni pat avrà un apprendimento diverso.

Lezione 19

19/05/2020

Protesi corticali

Prevedono l'utilizzo di una telecam e di un'unità di elaboraz. dati esterne, collegate a un chip e ad un array di microelettrodi impiantati a livello corticale.

By-passa tutti gli stadi precedenti quindi ci starebbe tutti quei sogg che hanno patologie nella stadi precedenti.

Il primo exp usi stato nel '68 da Brindley che stimolò elettricamente la corteccia visiva di alcuni volontari ciechi tramite l'impianto di un array di 60 elettrodi.

Exp succ da Dobelle che muovendo una corrente ad un singolo elettrodo si ha da parte del paziente la percezione di ^{una} estensione, somministrando corrente a + elettrodi contemporaneamente il soggetto avverte + estensi distinte.

Il disp. ideato da Dobelle rappresenta il 1° tentativo di ripristino della visione.

La protesi utilizza 64 elettrodi piatti che ricevono impulsi direttamente da un generatore, sotto il controllo di un piccolo computer.

I dati sono forniti da una videocamera miniaturizzata e da un sensore ad ultrasuoni; utilizzati per il calcolo delle distanze.

L'img viene convertita dal processore in una serie di segnali elettrici, che giungono all'array di elettrodi.

L'elettrode array è posizionato a contatto con la sup della corteccia occipitale attraverso l'impianto transcranico che stimola la regione corticale producendo uno specifico pattern di pt luminosi che formano l'img.

L'img che si ottiene con questo tipo di stimolaz è abbastanza definita per permettere al paz di muoversi e di percepire la forma e la posiz degli ogg.

(non è possibile ottenere una vista ottimale: leggere un testo o la visione a colori)

Nelle protesi recenti si sta provando a migliorare ciò, aumentando il no di elettrodi per array.

Test effettuati:

- Se basavano su come il soggetto potesse muovere in una scena di una normale scena quotidiana.
- Il paziente è in grado di poter muovere in uno scenario con 3 manichini senza scostarsi (1 in posizione eretta, 1 seduto e quello da bambino ~~o~~ anch'esse eretto).
- Riusce a prendere il cappello posizionato in maniera casuale.
- Riusce su richiesta a posizionare il cappello su uno dei manichini.

La scelta di approccio alla rabiliterazione una volta protesi corticale deve essere fatta solo dopo aver accuratamente valutato la possibilità di utilizzare la protesi retinica (quelli che prendono questa protesi, devono essere soggetti nei quali le altre protesi manifestano l'eliminazione completa alla stimolazione della retina o del nervo ottico).

Se non c'è altra alternativa, allora si può percorrere questa strada.

L'operazione chirurgica è estremamente complessa (apertura del teschio e dello spazio intracraniale, per poter impiantare il sistema di stimolazione).

L'inserimento della protesi nel tessuto cerebrale è di per sé un evento traumatico.

Tra i rischi ci sono:

- emorragie post-operative
- Rigonfiamenti
- Infarto dei tessuti
- Infezioni, crisi e deficit neurologici

Queste situazioni ritardano o precludono la fase di test dell'impianto.

Limitazioni dei sistemi attuali:

- Bassa risoluzione: nessuna delle protesi analizzate finora è riuscita a replicare la visione a pixel. Si riesce ad ottenere la generazione dei sistemi per evocare la percezione.
- Scarsa accuratezza \Rightarrow percezione di forme complesse necessita di continui movimenti della testa per ricostruire l'immagine corretta.
- Limitato campo visivo: limitato dalla dimensione dell'incisione che può essere fatta per l'inserimento dell'impianto (range 15-20°).
- Posizione della foto/video camera: ottenere una scansione degli oggetti da \neq punti di vista è possibile solo muovendo la testa.

Indizi sul movimento dell'occhio e sulla stimolazione ottica possono essere integrati per una percezione naturale degli oggetti. (come succede in Alpha-1MS)

- Algoritmi di elaborazione delle immagini: migliorare

Migliorare la percezione di oggetti di interesse trascurando la percezione di oggetti non di interesse

Sviluppi futuri:

- Miglioramento dell'elettronica: trasmissione dei dati e di potenza wireless

(Sistemi di ricezione solidale all'occhio, vedi Argus II e Alpha-1MS)

Il ricevitore si muove con lo spostamento dell'occhio, diminuendo la capacità di accoppiamento tra trasmissione e ricezione

- Miglioramento degli elettrodi di stimolazione: richiesta elevata densità di elettrodi per ottenere una visione dettagliata.

- La ricerca di nuovi materiali e processi di fabbricazione × proteggere la retina dagli agenti esterni, mantenendo comunque la struttura di contenimento + setole possibili

- Architetture elettroniche efficienti × ridurre il consumo di energia e nel contempo permettere il corretto livello di stimolazione.

- Elettrodi capaci di adattarsi alla conformazione della retina (circa sfenza)

- Elettrodi capaci di sostenere una grande densità di carica, di modo da poter aumentare il numero complessivo di elettrodi e aumentare la risoluzione delle proiezioni

- Algoritmi di elaborazione video volti a migliorare le informazioni disponibili nell'immagine.

Fine lista



Udito

Suono

I suoni sono generati dalle vibrazioni degli oggetti, si creano diff di pressione nell'aria che si propagano in ogni direzione.

Vibrazioni delle molecole nell'atmosfera producono il suono.

Le onde sonore sono onde concettiche che allungano il raggio con la distanza, ma diminuisce l'intensità.

Le onde sonore viaggiano con una certa v di propagazione (4 secondi del mezzo)

Es: velocità del suono nell'aria = 340 m/s
 " " " nell'acqua = 1500 m/s

Caratteristiche fondamentali:

- Ampiezza: grandezza del profilo di variaz. di pressione dell'onda sonora
- Intensità: q di en sonora che cade su una unità d'area.
- Frequenza: pr i suoni è il n° di cicli che si ripetono al sec (in termini di ΔP)
- Volume: l'aspetto psicologico del suono relativo all'intensità percepita.

Sono assimilabili a onde periodiche sinusoidali.

Parallelo Udito - Visione:

Amp e λ della luce \Rightarrow luminosità e colore

Amp e frequenza d'onda sonora \Rightarrow amp del suono al volume percepito,
 freq. all'altezza del suono

La frequenza è associata con l'altezza di un suono:

- Suoni a bassa f corrispondono a suoni con basse altezze (tuba)
- Suoni a alte f " " " con altezze alte (violoncello)

La capacità dell'udito nell'uomo è limitata:

Range frequenziale $[20; 20000] \text{ Hz}$

Certe frequenze le percepiamo meglio di altre (nesso a sentire suoni con amp + basse \Rightarrow dB bassi). $2000 - 6000 \text{ Hz}$

$\sim 120 \text{ dB}$ soglia di alto rischio

$\sim 140 \text{ dB}$ soglia del dolore

Decibel:

L'udito degli umani è sensibile anche ad un ampio range di intensità

Il rapporto fra il volume + basso e quello + alto di un suono che risulta percepibile è quasi di $1/100$ (milioni)

Al fine di descrivere le diff in amp in una gamma così ampia si usa una scala logaritmica. I decibel servono per misurare i livelli di sonorità.

Decibel: unità di misura dell'intensità del suono:

$$dB = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

La differenza fra 2 suoni in termini di rapporto fra le pressioni delle 2 onde sonore corrispondenti:

Cambiamenti relativamente piccoli in decibel possono corrispondere a cambiamenti fisici molto consistenti (es: un incremento di 6 decibel corrisponde circa ad un raddoppio della P del suono)

Nella formula sopra:

P_0 è una pressione di riferimento: livello + vicino alla P + bassa rilevabile + la f a cui siamo + sensibili ($0,0002 \text{ dyne/cm}^2$)

I diversi livelli ottenuti sono definiti come dB LPS = decibel del livello di P sonora