

Sorodna dela

Neza Krzan

2024-11-13

Ocenjevanje resnosti Parkinsonove bolezni trenutno temelji na nevroloških pregledih v ambulanti, kjer pacient izvaja motorične naloge, ki so opisane v lestvici *Movement Disorder Society-Unified Parkinson's Disease Rating Scale* (MDS-UPDRS). Ker so pregledi in ocene subjektivni, je raziskovanje objektivnega ocenjevanja pogosto raziskovana tema z različnimi rešitvami.

Objektivno ocenjevanje uporablja nosljive in nenosljive tehnologije za ocenjevanje merjenih značilnosti gibanja. Obstajajo tudi mešani pristopi, pri katerih se uporablja kombinacija računalniških vida in pasivnih ali aktivnih nosljivih naprav. Podatki, zbrani na ta način, se nato analizirajo z modeli, ki ocenjujejo motorične sposobnosti pacienta.

Ocenjevanje telesnih gibov(*HPE – Human Pose Estimation*) celotnega telesa je doseglo izjemno natančnost, sledenje gibom rok pa zaenkrat še predstavlja izzive. Podobno kot pri ocenjevanju telesnih gibov, tudi pri sledenju rok uporabljajo različne pristope - uporaba nosljivih naprav(IMU, senzorske rokavice) in uporaba računalniškega vida.

Nosljive naprave predstavljajo uveljavljen pristop za objektivno ocenjevanje stopnje Parkinsonove bolezni in pogosto presegajo tradicionalne pristope računalniškega vida. Večina nosljivih naprav temelji na IMU, ki zaznavajo gibe rok ali na MG senzorjih za merjenje mišične aktivnosti. Tapkanje s prsti(*finger tapping*) ter proučevanje gibov rok pa bolj temelji na analizi video posnetkov in globokem učenju ter je zelo raziskovana metoda v zadnjih letih.

Proučevane naloge v dosedanjih študijah

Različna dela preučujejo različne znake Parkinsonove bolezni, vendar med najpogostejše preučevanimi je tapkanje s prsti(*finger tapping*), sledi ji gibanje rok(*hand movements*), pronacija-supinacija (*pronation-supination*) in tremor. Pogosto so tapkanje s prsti, gibanje rok in pronacija-supinacija preučevane skupaj, ker naj bi bile celoten pokazatelj ocene MDS-UPDRS.

Študije sledijo kliničnim ciljem - stadij bolezni(ocena po MDS-UPDRS), prepoznavanje bolezni v primerjavi z zdravimi kontrolnimi primeri in ocena specifičnih imptomov(oceno tremorja, bradikinezije); največ študij se ukvarja z oceno bolezni po MDS-UPDRS in primerjavo značilk z zdravo kontrolno skupino. Pri ocenjevanju stadija bolezni po MDS-UPDRS gre za kompleksen problem, zlasti med sosednjimi ocenami. Študije poročajo o nizki povprečni natančnosti(*across-task* in *across-cross-validation-stage accuracy*), vendar o dobri vrednosti sprejemljive natančnosti(*acceptable accuracy*). Pri prepoznavanju bolezni oz. diagnozi bolezni poročajo o visokih natančnostih, zlasti pri tapkanju s prsti.

Pridobivanje videoposnetkov oz. podatkov v primeru preučevanja tapkanja s prsti(*finger tapping*)

Različne študije so se poslužile zajema podatkov na različne načine(npr. tipkanje na tipkovnico, uporaba nosljive naprave nameščene na kazalcu), med najbolj priljubljenimi načini pa so videoposnetki tapkanja s prsti.

Posnetki so bili pridobljeni v ustreznem okolju (ambulanta ali laboratorij) z uporabo standardnih kamer ali kamer telefonov (15fps, 30fps ali 60fps, večin 1920x1080 slikovnih pik ali 3840x2160 slikovnih pik), ponavadi nameščenih na stojalo, ki je bilo v večini študij 1m oddaljen od roke oz. palca in kazalca.

Pri osebah s Parkinsonovo boleznijo so v večini študij prevladovali moški in bolniki z diagnozo, ki je bila postavljena s strani specialista pred manj kot dvema/tremi/petimi leti (v večini študij) s strani nevrologa. Nekateri študije so obravnavale osebe s Parkinsonovo boleznijo, ki se ne poslužujejo nobeni terapiji, pri nekaterih študijah pa to ni bilo pomembno. Osebe s Parkinsonovo boleznijo so naloge običajno izvajale z obema rokama, pri čemer so se posnetki leve in desne roke obravnavali kot neodvisni, saj je lahko ocena leve in desne strani različna po MDS-UPDRS. Naloga se je izvajala le enkrat, saj pri osebah s Parkinsonovo boleznijo ponovno izvajanje naloge ne prinese realne predstavitve stanja bolezni, zaradi utrujenosti. V nekaterih študijah pa so bili vključeni tudi posnetki zdravih oseb, t.i. kontrolnih oseb, ki niso imeli zgodovine Parkinsonove bolezni ali druge nevrološke bolezni, zaradi specifičnosti obravnavanega problema. Zdrave osebe pa so naloge izvajale le z dominantno roko.

Osebam je bilo ponavadi pokazano kako naj izvajajo nalogo, med samim izvajanjem pa jih niso popravljali. Nalogo tapkanja s prsti so v večini izvajali po 10 ali 15 sekund.

Obdelava postentkov in podatkov, pridobljenih iz posnetkov

Algoritmi oziroma arhitekture, ki so jih izdelali v študijah vsebujejo različne načine obdelovanja posnetkov. V posnetkih sledijo gibanju rok oz. oceni pozicije roke s pomočjo različnih orodij, obstajajo pa tudi primeri ko so uporabili globoko nevronske mreže neposredno na videoposnetkih tapkanja s prsti.

Sledenje gibom rok na podlagi videoposnetkov oz. ocena pozicije rok (*hand pose estimation*) je metoda pridobivanja nabora položajev sklepov rok iz *RGB*, *depth* in *RGB-Depth* videoposnetkov. Za detekcijo roke večina uporablja nabor sklepov z različnimi orodji. Večina uporablja nabor sklepov, ki se uporablja v orodjih *OpenPose* in *MediaPipe*, je model roke COCO (*COCO Hand model*), sestavljen iz 21 točk, ki predstavljajo glavne sklepe roke, kot je prikazano na sliki @ref{skelet_roke}.

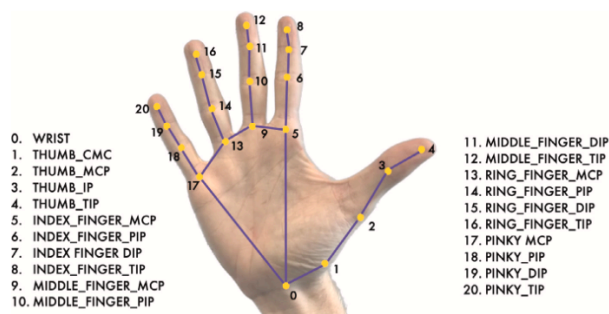


Figure 1: COCO Hand model, tipična konfiguracija sklepov v orodjih *OpenPose* in *MediaPipe*.

Torej zaznavanje drže roke oziroma položaj sklepov je večina študij pridobila s pomočjo orodij *MediaPipe*, *OpenPose*, *DeepLabCut* in *MMPose*. Za roko vrnejo skelet 21 točk iz katerih so potem računali različne značilke.

Dogajalo se je tudi, da zgornja orodja niso zaznala vseh sličic videoposnetka in so podatki imeli manjkajoče očke skeleta posameznih sličic. Nekateri so se problema lotili z linearno interpolacijo, ki so jo uporabili le v primeru, ko je orodje zaznalo prejšnjo in naslednjo sličico. Posnetke, kjer orodja niso zaznala več sličic, so odstranili iz podatkov.

Identificirali so tudi posamična gibanja tapkanja s prsti - cikel tapkanja. Nekateri so se problema lotili z izračunom razdalje med palcem in kazalcem oz. kotne razdalje med palcem in kazalcem in na podlagi tega ter standardnih algoritmov določili vrh in dno amplitude oz. odpiranje in zapiranje prstov. Večina se jih je

posluževalo izračuna evklidske razdalje med palcem in kazalcem, saj so bili koti občutljivi na nagib kamere - med kamero in roko bi moralo biti 90 stopinj.

Orodja so v podatke vpeljela visokofrekvenčne šume, ki nastanejo zaradi prileganja skeleta orodja roki in tremorja oseb s Parkinsonovo boleznijo. Dobljene razdalje oz. kote so zato zgladili na različne načine.

Nekatere študije so se lotile tudi problema neravnovesja razredov - večina je bila uporabljen tehnika SMOTE(*Synthetic Minority Oversampling Technique*). S to tehniko so povečali manj zastopane razrede in zmanjšali prekomerno zastopane razrede v njihovih podatkih.

Pred računanjem značilk so nekateri avtorji, predvsem tisti, ki se niso posluževali ročnega računanja značilk, podatke normalizirali z uporabo povprečja in standardne deviacije podatkov(Z-score normalization).

Značilke

Večina avtorjev je svoje modele gradila na ročno izračunanih značilkah(*manual features*) glede na smernice ocen po lestvici MDS-UPDRS. Ker pa nekateri niso dobro poznali problema in značilnosti Parkinsonove bolezni, ali pa so model, naučen na ročno izračunanih značilkah, želeli primerjati, so se izračuna značilk lotili z nevronskimi mrežami. Kot vhodni podatek so podali časovno zaporedje podatkov, model pa je iz njih izluščil značilke.

Ročno pridobljene značilke

Ročno računanje značilk je temeljilo na signalih, ki so predstavljali pospešek(*acceleration*), kotna hitrost(*angular velocity*), premik(*displacement*) in kot(*angle*) v časovni vrsti.

Za izračun sprememb območja in hitrost tapkanja prstov so avtorji po večini izbrali dvodimenzionalne podatke o sklepih, kjer je posamezen sklep J_i , $i = 1, \dots, 21$ (model roke COCO) je definiran kot $J_i = (x_i, y_i)$ oz. tridimenzionalne podatke o sklepih, torej posamezen sklep J_i , $i = 1, \dots, 21$ (model roke COCO) je definiran kot $J_i = (x_i, y_i, z_i)$, s katerimi so računali evklidske razdalje med posameznimi sklepi v določenem časovnem okvirju, najpogosteje razdaljo med palcem in kazalcem. Evklidska razdalja med palcem in kazalcem v časovnem okvirju t za dvodimenzionalne podatke je definirana kot

$$D_t = d(J_4^t, J_8^t) = \sqrt{(x_4^t - x_8^t)^2 + (y_4^t - y_8^t)^2}$$

oz. za trodimenzionalne podatke

$$D_t = d(J_4^t, J_8^t) = \sqrt{(x_4^t - x_8^t)^2 + (y_4^t - y_8^t)^2 + (z_4^t - z_8^t)^2}.$$

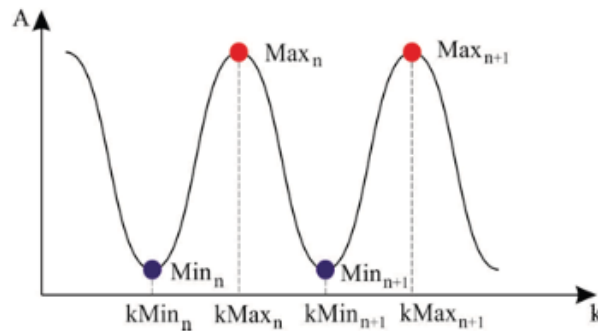


Figure 2: Shematična označitev odvisnosti amplitude gibanj (A) od števila sličic (k).

- Število gibanj, štetih po maksimalnih točkah
- Maksimalna točka med maksimalnimi točkami
- Maksimalna točka med minimalnimi točkami
- Minimalna točka med maksimalnimi točkami
- Minimalna točka med minimalnimi točkami
- Povprečno število maksimalnih točk
- Standardni odklon maksimalnih točk
- Povprečno število minimalnih točk
- Standardni odklon minimalnih točk
- število vrhov v časovnem intervalu, F_p

Amplituda(*amplitude*) in hitrost(*velocity*)

Amplituda in hitrost sta dve najbolj običajni značilki, ki se analizirata za oceno Parkinsonove bolezni z uporabo tapkanja s prsti. V večini primerov sta definirani kot:

Amplituda: razdalja med palcem in kazalcem.

Hitrost: razlika v amplitudi skozi čas.

Iz amplitude in hitrosti so bile pogosto izračunane naslednje značilke:

- Povprečna, maksimalna in minimalna hitrost odpiranja in zapiranja,
- povprečna, maksimalna in minimalna amplituda odpiranja in zapiranja, standardni odklon amplitude odpiranja in zapiranja,
- povprečje in koeficient variacije amplitude gibanja,
- povprečje in koeficient variacije hitrosti gibanja (amplituda gibanja / trajanje gibanja),
- povprečje in koeficient variacije hitrosti gibanja pri odpiranju (amplituda gibanja / trajanje gibanja pri odpiranju),
- povprečje in koeficient variacije hitrosti gibanja pri zapiranju (amplituda gibanja / trajanje gibanja pri zapiranju),
- povprečje, koeficient variacije in razpon trajanja cikla,
- hitrost gibanja (število pritiskov na čas) ter
- upad amplitude (povprečna amplituda v prvi polovici poskusa v primerjavi s povprečno amplitudo v drugi polovici poskusa).
- prelomna točka amplitude(*breakpoint*), F_{amp-bp}
- prelomna točka hitrosti(*breakpoint*), F_{vel-bp}

Definicija: *Amplituda odpiranja* je razlika med najvišjo in najnižjo točko v fazi odpiranja gibanja. Izračuna se po formuli

$$Max_n - Min_n.$$

Definicija: *Amplituda zapiranja* je razlika med najvišjo in najnižjo točko v fazi zapiranja gibanja. Izračuna se po formuli

$$Max_n - Min_{n+1}.$$

Definicija: *Hitrost odpiranja* je razlika med največjim in najmanjšim vrhom v fazi odpiranja gibanja, deljena z ustreznim časovnim intervalom. Izračuna se po formuli

$$\frac{Max_n - Min_n}{kMax_n - kMin_n}.$$

Definicija: *Hitrost zapiranja* je razlika med največjim in najmanjšim vrhom v fazi zapiranja gibanja, deljena z ustreznim časovnim intervalom. Izračuna se po formuli

$$\frac{Max_n - Min_{n+1}}{kMax_n - kMin_{n+1}}.$$

Povprečje amplitude:

$$F_{amp-mean} = \frac{\sum_{n=1}^N A_n}{N},$$

kjer $p = [p_1, p_2, \dots, p_n, \dots, p_N]$ predstavlja vrhove, kjer je p_n n -ti vrh, A_n pa amplituda pripadajočega vrha p_n .

Varianca amplitude:

$$F_{amp-var} = \frac{\sum_{n=1}^N (A_n - f_{mean})^2}{N}$$

Povprečna hitrost gibanja prsta:

$$F_{vel-mean} = \frac{\sum_{n=1}^{N-1} V_n}{N-1},$$

kjer je $V_n = \frac{A_n + A_{n-1}}{\Delta t_n}$, $\Delta t_n = t_n - t_{n-1}$ časovni interval med $n-1$ -tim in n -tim vrhom amplitude.

Varianca hitrosti:

$$F_{vel-var} = \frac{\sum_{n=1}^{N-1} (V_n - s_{mean})^2}{N-1}.$$

Utrujenost oz. zastoj in oklevanje(*halt and hesitation*)

Utrujenost oz. zastoj in oklevanje sta lastnosti pri kateri imamo več različnih pristopov, uporabljenih za njeno oceno. Na primer:

- razlika med najvišjimi in najnižjimi vrednostmi amplitudnih vrhov,
- gradient amplitude glede na čas,
- razlika med številom tapkanj v dveh časovnih intervalih,
- koeficient variacije v hitrosti tapkanja,
- razlika med povprečno vrednostjo maksimalne amplitude tapkanja prstov v dveh časovnih intervalih,
- koeficient variacije v maksimalni amplitudi tapkanja prstov,
- pospešek tapkanja.

Zastoj je bil ponavadi opredeljen kot trenutek popolne ustavitve, oklevanje pa kot opazen upad hitrosti. Ta dva pojma so opredelili s pomočjo vrhov $p = [p_1, p_2, \dots, p_n, \dots, p_N]$, kjer so uporabili model prilagajanja krivulje množici p , z namenom ocene trenda vrhov. Predpostavljamo, da je p_n vrh, ko je prišlo do zastoja in oklevanja, \hat{p}_n pa predstavlja napovedani vrh na podlagi prilagojenega modela. Potem je značilka zastoja in oklevanja lahko definirana kot

$$F_{hh} = \begin{cases} 1, & \text{če } |\hat{p}_n - p_n| \geq \theta \\ 0, & \text{če } |\hat{p}_n - p_n| < \theta \end{cases},$$

kjer je prag(*threshold*) definiran kot $\theta = \alpha \cdot \frac{A_{n+1} + A_{n-1}}{2}$, α je parameter, ki nadzoruje prag, ki ga zaznamo(*detection threshold*).

Frekvenca(*frequency*) oz. ritem(*rhythm*)

Uporabljata se oba pojma, ampak ne pomenita vedno isto. Izračun lahko temelji na uporabi hitre Fourierove transformacije(*Fast Fourier Transform*), eden izmed pristopov je tudi uporaba lastnosti “prekrižna korelacija med normaliziranimi vrhovi”(*cross-correlation between the normalized peaks*) za oceno doslednosti in ritma pri tapkanju.

Definicija: Frekvenca je enota, deljena s časovnim razponom enega gibanja. Izračunamo jo po formuli

$$F_{freq} = \frac{1}{kMax_{n+1} - kMax_n}.$$

Računali so:

- povprečna frekvenca,
- standardni odklon frekvence.

Demografske značilke

Nekateri so v model vključili tudi dva demografska dejavnika - spol in starost. To temelji na opažanju, da naj bi lahko starejši posamezniki kazali znake bradikinezije, povezane s staranjem, neodvisno od Parkinsonove bolezni, ter da lahko starost in spol vplivata na razvoj bolezni.

Izbira značilk

Izračunane značilke so ponavadi standardizirali z uporabo metode *StandardScalar*, kar naj bi zagotvaljalo, da vse značilke enako prispevajo k modelu in da ne bi katera izmed značilk prevladovala pri učenju modela.

V študijah, kjer so imeli več značilk, so iskali tudi optimalno množico značilk - značilke, ki so najpomembnejše pri klasifikaciji Parkinsonove bolezni. Iskanje optimalne množice značilk se je razlikovalo glede na glavo naloge, cilj študije. Tisti, ki so imeli, poleg nabora podatkov oseb s Parkinsonovo boleznijo, še nabor podatkov zdravih(kontrolnih) oseb, so primerjali značilke, izračunane za obe skupini oseb. Značilke so bile pregledane s pomočjo statističnega testiranja, da se ocenijo porazdelitve v teh dveh skupinah oseb. Ker so značilke pokazale nenormalno porazdelitev s pomočjo Shapiro-Wilkovega testa, so lahko uporabljali Mann-Whitneyev U-test za neodvisne vzorce, za prepoznavanje značilk, ki so v obeh skupinah oseb porazdeljene različno. Uporabljali so značilke, ki so bile, glede na skupino oseb, porazdeljene različno.

Za izbor množice optimalnih značilk so bili uporabljeni tudi različni algoritmi.

Pri algoritmu *Speeded Up Robust Features*(SURF) so bile izbrane značilke s pozitivnim rezultatom, ker to pomeni, da je značilka stabilna, točna in potencialno uporabna za nadaljnje operacije.

Algritem *Reursive Feature Elimination*(RFE) iterativno odstranjuje najmanj pomembne značilke na podlagi uspešnosti modela podpornih vektorjev(SVM), na koncu pa izbere množico, ki najbolj prispeva k nalogi klasifikacije.

SelectKBest razvršča značilke glede na njihov *k-score*, metriko, ki meri relevantnost in informativnost posamezne značilke glede na ciljno spremenljivko. Značilke, ki imajo najvišje *k-score*, so prednostno vključene v končni nabor značilk, medtem ko so manj informativne značilke izključene.

Nekateri avtorji so po gradnji modelov na množici izbranih značilk ugotovili, da izključitev določenih značilk in s tem poslabšanje ravnovesja med značilkami povzroči poslabšanje modela, zato so se vselej odločili za gradnjo modela na celotnem naboru značilk.