

Důležité je, jako ve všech úlohách, ve kterých aplikujeme UNS, předzpracování dat. Do oblasti predikce časových řad patří např. systémy pro odhad vývoje zahraničního obchodu (Citibank London, Bank of Australia), předpověď počasí, rozpoznávání řeči, z medicíny pak předpověď a potvrzení srdečního infarktu z výstupu EKG nebo identifikace neurologických poruch z analýzy EEG.

6.4 Zpracování elektroencefalografických záznamů pomocí umělých neuronových sítí

Když se řekne biologický signál (biosignál), většina posluchačů si vybaví dva názvy – EKG (elektrokardiograf) a EEG (elektroencefalograf). V následujícím textu se zaměříme na EEG a ukážeme si jakým způsobem lze analyzovat záznamy EEG pomocí UNS. Tématu EEG je věnováno mnoho publikací, avšak aplikace UNS v této oblasti jsou publikovány v mnohem menší míře. Jsou to např. [115], [144], [145], [43], [80], [81] a [24].

EEG je se řadí mezi elektrofyziologické vyšetřovací metody. Při vyšetření se zaznamenává aktuální elektrická aktivita mozku pomocí povrchových elektrod umístěných na povrchu lebky. V dnešní době se provádí analýza EEG záznamů na počítačích. Lékař je schopen dlouhodobě zaznamenávat a archivovat záznam elektronicky, rychle jej vyhledat, poslat na jiné pracoviště a samozřejmě, díky stále se zvyšující výkonnosti počítačů, rychle analyzovat a porovnávat výsledky analýz, a tím zrychlit a zpřesnit diagnózu.

V následující podkapitole se zaměříme pouze na stručný přehled těch informací o EEG, které jsou potřebné pro správnou analýzu záznamů. Nebudeme se zabývat ani metodami měření, ani stanovením diagnózy. K tomu jsou určeny jiné publikace.

6.4.1 Elektroencefalografický záznam

Bioelektrický proud je stejnosměrný, rozpětí hodnot bioelektrických mozkových potenciálů je $5 \mu\text{V}$ až $210 \mu\text{V}$ a rychlost generování elektrických výbojů v cyklech za sekundu je 0.5 Hz až 40 Hz . Tyto mozkové potenciály jsou projevem funkční aktivity mozku. Zpracováváný signál je diskrétní, aperiodický. K elektrickému výboji dochází samostatně v jednotlivých neuronech. Pomocí EEG určíme průměrné hodnoty z neuronálních polí. Jednotlivé oblasti mozku (pole) vykazují rozdílné hodnoty v závislosti na jejich funkci a poloze. Při neinvazivní metodě snímání rozdílu elektrických potenciálů (v rozsahu přibližně 10 mV) jsou na povrchu skalpu (kůže a další měkké tkáně na lebeční kosti) rozmístěny elektrody. Protékající proudy je nutné zesílit.

Ze záznamu EEG lze určit např. jednotlivé fáze spánku, jeho poruchy, určit poškození mozku, zjistit epilepsii a rozlišit její druh, pomáhají diagnostikovat encefalitidu.

Jak EEG pracuje?

Vstupní impuls podráždí skupinu neuronů. Odezvou na tento impuls je synchronizovaný elektrický výboj. Tento výboj podráždí sousední skupinu neuronů a potlačí aktivitu pů-

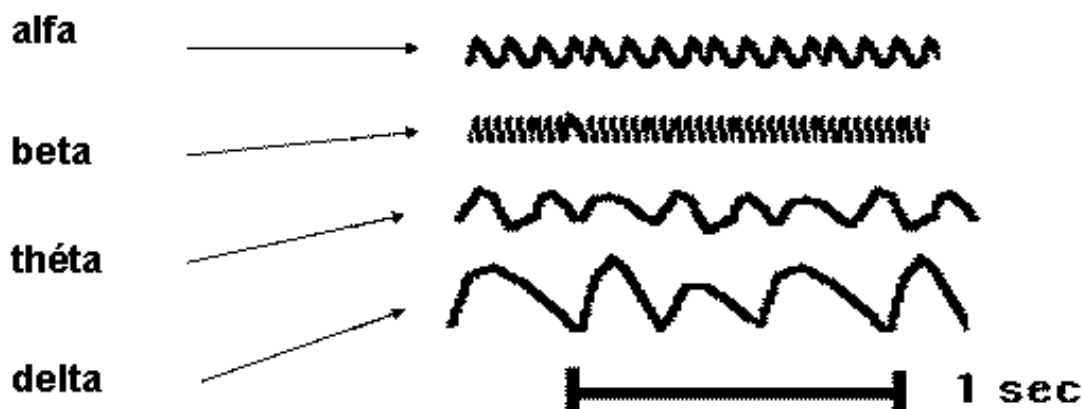
vodní skupiny. Po odeznění podnětu se přestane aktivita potlačovat a skupina excitujících neuronů je připravena na nový impuls. Celý proces se opakuje. Na množství excitujících synchronizovaných neuronů vysílajících výboje závisí velikost vln EEG, a to přímo úměrně počtu excitátorů. Tyto elektrické výboje jsou zaznamenávány pomocí EEG.

Biosignál je snímán z tzv. povrchových skalpových elektrod, které jsou rozmístěny na povrchu hlavy a označeny podle mezinárodní normy. Nejčastější počet elektrod je 19 – 64 (to je také počet současně snímaných kanálů), viz [115].

Rozlišujeme čtyři základní pásma (hladiny) frekvencí mozkových vln, a to pásmo

- delta: 1 – 3.5 Hz, amplituda 75 – 210 μV – hluboký spánek, ve stavu bdělosti patologické
- theta: 4 – 7.5 Hz, amplituda 5 – 100 μV – kreativita, usínání
- alfa: 8 – 13 Hz, amplituda 30 – 80 μV – relaxace, zavřené oči
- beta: 14 – 30 Hz, amplituda 10 – 30 μV – koncentrace, logicko-analytické myšlení, neklid
- gama: 30 Hz a více – extrémní koncentrace, hluboká meditace

Tvar těchto vln v jednotlivých tolerančních pásmech je schematicky znázorněn na obrázku 6.21. Hodnoty amplitud se mohou lišit, hodnoty uvedené zde jsou tedy pouze orientační. Podstatná jsou frekvenční pásma.



Obrázek 6.21: Frekvenční pásma mozkových vln snímaných encefalografem

Pásmo delta představuje výrazný útlum všech funkcí. Je projevem bezesného spánku nebo stavu bezvědomí. Dochází k regeneraci životních funkcí, k akumulaci energie a k pomalé látkové přeměně. Vyskytuje-li se jindy, než ve spánku, jedná se o patologický jev.

Pásmo theta je charakterizováno rovněž útlumem všech funkcí, nedochází k žádné reakci na smyslové podněty, ale dochází k uvolňování obrazových informací z podvědomí a k tvorbě snů (slabá radiace vln alfa a beta). Toto pásmo charakterizuje především ospalost, usínání, hluboké uvolnění, ale také poruchy pozornosti a lehkou mozkovou dysfunkci (LMD). Zvýšený výskyt je považován neurology za patologický.

Pásmo alfa vyjadřuje stav bez napětí, nedochází k reakcím na vnější podněty, ani k soustředěnému myšlení. Pásmo alfa popisuje úplnou bdělost doprovázenou příjemnými pocity. V tomto stavu se posilují a regenerují všechny životní funkce a většinou se dá vyhnout onemocnění. Jedná se o bdění se zavřenýma očima, při relaxaci. Tento stav mizí po otevření očí a při soustředění pozornosti na nějaký problém. Je to základní pásmo u dospělých.

Pásmo beta charakterizuje vědomé smyslové soustředění na okolí, akceschopnost, napětí; objeví-li se toto pásmo při zavřených očích, jedná se o stav náladových změn, podrážděnost a úzkostnost. Charakterizuje také pohyb. Toto pásmo můžeme ještě dále rozdělit na

- oblast do 18 Hz: běžný stav bdělosti,
- oblast 22 – 24 Hz: energetická zátěž, zhoršující se schopnost a kvalita přeměny a regenerace tkání,
- oblast nad 30 Hz: podráždění, tréma, úzkost, vysoce náročné životní situace.

Do nejvyšších hodnot pásma beta se dostáváme i při psychoneurologických poruchách a nemocech.

Toto teoretické dělení je ve skutečnosti složitější. Výše popsané hladiny vzniknou v mozku pouze tehdy, je-li určité konkrétní pásmo (např. pásmo alfa) dominantní. To obvykle trvá velmi krátce (řádově několik minut). Při soustředění mysli začnou mozková centra vysílat vlny v rozmezí 10 – 40 Hz. Ke sjednocení na 10 – 12 Hz, resp. 2 – 3 Hz dochází s rostoucím útlumem. Hodnoty frekvencí a amplitudy elektrického proudu, který vzniká z potenciálů mezi jednotlivými neurony, jsou závislé na druhu činnosti, při které vznikají a souvisí i s oblastí mozku, která je za danou činnost odpovědná (to lze poznat z rozmístění elektrod na skalpu).

Obtížnost těchto analýz je zapříčiněna individualitou sledovaného člověka, ale také šumem v záznamu signálu. Frekvenční charakteristika je také závislá na věku (u novorozenců se vyskytují delta vlny, později theta vlny a alfa vlny se stávají dominantními až kolem 18. roku).

Pokud chceme klasifikovat EEG signál, je nutné znát další pojmy z neurologie. **Epileptické grafoelementy** identifikujeme v EEG záznamu jako hroty, ostré vlny, komplexy hrotů a ostrých vln, ostrých a pomalých vln (mnoho ukázek EEG záznamů, reálných, ne pouze schematických, lze najít v [22]).

Při analýzách se rozlišují dvě fáze spánku, a to **NONREM** se čtyřmi fázemi a **REM** (*Rapid Eye Movements*). REM spánek se dostaví v průměru za 90 – 120 minut po usnutí,

opakuje se během noci 4 – 6 krát, u zdravých dospělých tvoří 20 %, tato hodnota se s věkem mění.

Tato část popisující základní vlastnosti EEG signálu a jeho záznamů má tvořit pouze nezbytné neurologické minimum pro každého, kdo se chce pokusit o klasifikaci EEG záznamů pomocí UNS. Více informací je nutné hledat v odborné lékařské literatuře.

6.4.2 Analýza EEG záznamu

Mluvíme-li o analýze EEG, znamená to, že určujeme např. frekvenční charakteristiku, časovou spektrální analýzu, používáme expertní systém s diagnostikou nebo neuronovou síť. V této publikaci se soustředím na posledně jmenovanou metodu.

Pro tuto aplikaci lze použít oba hlavní typy UNS popisované v této knížce, tedy MLNN i SOM. Záleží na konkrétním požadavku. Tak jako ve všech úlohách, ve kterých aplikujeme neuronové sítě, i pro tento účel musíme věnovat velkou pozornost fázi předzpracování. Signál EKG je tedy digitalizován, jednotlivé složky jsou snímány klouzajícím oknem. Architektura sítě je vrstevnatá dopředná, počet vstupních neuronů je roven počtu vzorků v okně. Používá se jedna nebo několik skrytých vrstev. Počet neuronů ve výstupní vrstvě je roven počtu tříd, do kterých je třeba klasifikovat. Počet učebních vzorů by měl být několiknásobkem počtu klasifikačních tříd. Princip vytvoření vstupních trénovacích dat z EEG signálu a jejich přivedení na vstup UNS je obdobné jako u predikce na obrázku 6.20.

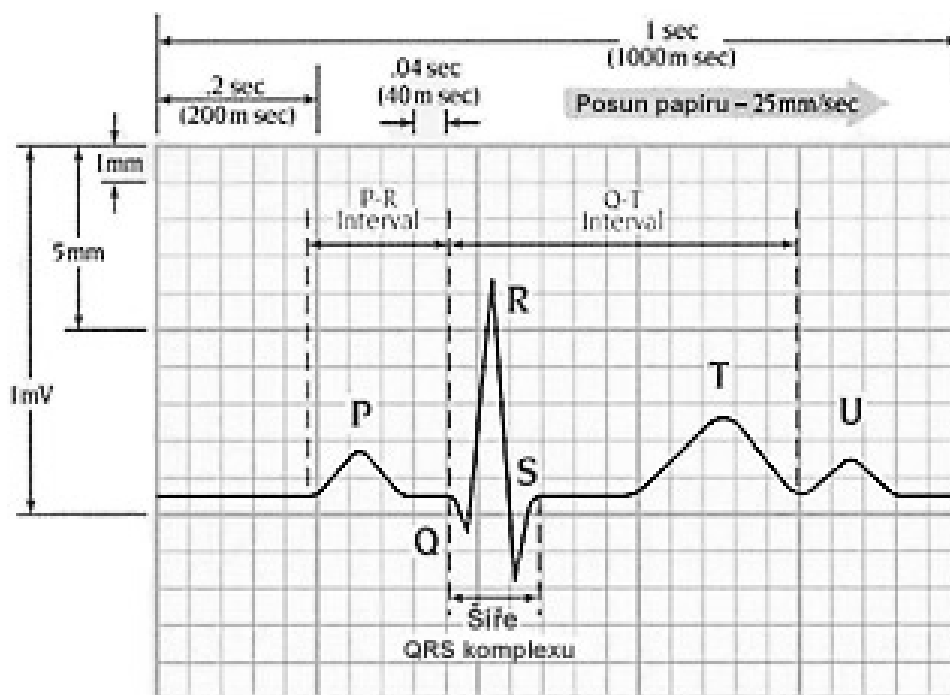
Pokud chceme vyhledat v EEG záznamu nějaké artefakty nebo nestandardní průběhy zapříčiněné např. epileptickými výboji, bude se jednat o klasifikaci do dvou tříd. Pak lze použít SOM, zvláště pokud EEG záznam nebude popsán lékařem. Výsledky SOM map charakterizují odchylky mezi jednotlivými kategoriemi aktivity. Tyto různé druhy aktivit se promítnou do různých oblastí mapy. Změny v aktivitě mozku jsou monitorovány pomocí vizualizace trajektorií. Častěji se však používá vícevrstvá neuronová síť MLNN s algoritmem učení BPG. V tomto případě je UNS trénovaná na rozpoznání tzv. **HVS vzorků** (*High Voltage spike-and-wave Spindle*). Dobře natrénovaná a optimalizovaná síť je schopna detekovat např. existenci HVS ve 12-ti hodinovém spánkovém EEG záznamu s 93–99% úspěšností. Ale počet chybně detekovaných událostí (např. artefaktů) je v rozmezí 18–40%. Tyto výsledky nás opravňují k domněnce, že je možné použít UNS při rozpoznání EEG vzorků a konstruovat automatický evaluační systém pro detekci, sledování a označení epileptiformních vzorků. V jiné úloze, pro EEG záznamy dětí, se v článku [80] uvádí úspěšnost klasifikace EEG vzorků do 6-ti tříd v hodnotě 65–80%.

EEG a UNS můžeme také použít s hledáním souvislostí mezi Brocovým a Wernickeovým centrem (viz 6.17, tedy s mozkovými centry zpracovávajícími řeč a jazyk ([148])). Bude se jednat o vizualizaci problému.

6.5 Analýza EKG křivky

Elektrokardiogram – EKG je vyšetření, které umožňuje odhalení většiny závažnějších srdečních onemocnění (např. známky nedokrevnosti srdečního svalu, proběhlý infarkt

myokardu, neléčenou chlopenní vadu, atd.) Zvláštní význam má EKG při studiu poruch srdečního rytmu. EKG snímá časovou závislost elektrické aktivity srdce. V současné době se jako standardní vyšetření využívá tzv. 12.svodové EKG, při kterém se zaznamenává 6 bipolárních svodů z končetin a 6 unipolárních svodů z povrchu hrudníku. Na normálním záznamu EKG se popisují vlny P, T, U a kmity Q, R, S. Při analýze EKG se obvykle



Obrázek 6.22: EKG křivka

postupuje konvenčními metodami, mezi než počítáme matematické a statistické algoritmy analýzy EKG signálů. Je však také možné aplikovat UNS. Docílíme zlepšení přesnosti diagnózy, a to i při výskytu komplikací, umožníme automatické rozpoznání událostí s malou četností i náročné vyhodnocení.

Signál EKG je digitalizován, jednotlivé složky jsou snímány klouzajícím oknem. Architektura neuronové sítě je vrstevnatá dopředná, počet vstupních neuronů je roven počtu vzorků v okně, používá se jedna nebo několik skrytých vrstev. Počet neuronů ve výstupní vrstvě je roven počtu tříd, do kterých je třeba klasifikovat. Počet učebních vzorů by měl být několikanásobkem počtu klasifikačních tříd.

6.6 Řízení a monitorování funkce strojů

Průmyslová zařízení jsou obvykle velmi složité systémy, popsatelné stavovými proměnnými, často v nelineárním prostředí. V jejich funkci ale existuje mnoho charakteristických