

TECHNOLOGICKÝ LIST č. 62

**poloprovozu ověřené technologie
prototypu uplatněné metodiky funkčního vzorku autorizovaného software***

Název: Metodika kvantifikace pohybů rtů hráče na žesťový nástroj vysokorychlostní kamerou

Title: The method of quantification of brass player's lips movements with high-speed imaging

Původce (-i): Viktor Hruška, Zdeněk Otčenášek

Vlastník: Akademie múzických umění v Praze, Hudební fakulta, Výzkumné centrum MARC

Lokalizace: 118 00 Praha 1, Malostranské nám. 13

Abstrakt: Metodika zavádí jednotný postup pro dokumentování přirozeného buzení zvuku žesťových nástrojů kmitáním rtů hudebníka a řeší sledování pohybů povrchových částí rtů, analýzu časového průběhu plochy štěrbiny mezi rty a porovnávání způsobů kmitání rtů změní-li se kvalita nástroje nebo hudebník. Základem metodiky je vysokorychlostní záznam kamerou se vzorkováním pohybu tak, že na jednu periodu mezi dvěma po sobě jdoucími otevřeními rtů připadají řádově desítky snímků. Metodika vymezuje konfiguraci sestavy při snímání, volbu nastavovaných parametrů v návaznosti na hraný tón a popis doporučeného způsob vyhodnocení získaných záběrů (vhodné filtrování dat, kymografické získání vzdáleností bodů na okraji rtů a plochy otevření rtů).

Abstract: This method introduce a unified procedure to document a natural excitation of sound in brass instruments by player's lips motion, a procedure to observe a motion of the lips' surface and measurements of lip-opening area in time, which allows comparison of lips behavior with changing of an instrument or a player. The method is based on high-speed camera imaging so that for one period of lips' motion there are tens of images. In the method features and configuration of specific equipment depending on a kind of the brass instrument, played note etc is described as well as recommended procedure of the data post-processing (data filtering, the kymography technique to achieving of the edge lips distances and lip-opening area).

Popis: Viz Příloha k TL č. 62

Inovační aspekty: Detailní metodika umožňující následné porovnávání získaných výsledků nezávislé na původu záznamů nebyla dosud zpracována. Metodika zároveň doporučuje postup prvotního vyhodnocení dat, který zlepšuje kontrast sledovaného jevu v datech a zcela nově v hudební akustice žesťových nástrojů využívá video kymografické trasování jednotlivých bodů na povrchu rtů.

Přínosy: Využití kymografie je vysoce přínosné pro opakované experimenty, jelikož umožňuje automatizované zpracování jinak velmi obtížně zpracovatelného velkého množství snímků z vysokorychlostní kamery. Současně metodika je přínosná tím, že lze využít velmi vysoké vzorkování obrazového signálu, které umožňuje zapojení pokročilejších numerických metod při vyhodnocování snímku. Metoda rovněž umožňuje velmi detailní snímání i nestacionárních stavů kmitání, které například metody založené na stroboskopii poskytnout nemohou.

Licence: Není licenčně vázáno

Licenční poplatek: není

Obor: Akustika a kmity – BI, Umění, architektura, kulturní dědictví – AL

Projekt: MŠMT Institucionální podpora dlouhodobého koncepčního rozvoje AMU Praha, IP DKR projekt *Zvuková kvalita*

Identifikační číslo RIV:

Údaje pro RIV:

Umístění: <http://zvuk.hamu.cz/vyzkum/publikacni.php>

Bližší upřesnění výsledku: N - certifikovaná metodika (kód A),

Interní kód produktu: Kvantifikace pohybu rtů

Číselná identifikace: TL.62

Technické parametry výsledku: Technické parametry a popis zařízení viz. TECHNOLOGICKÝ LIST č. 62 (vydán r. 2014 Výzkumným centrem MARC, HAMU v Praze)

Ekonomické parametry výsledku: Metodika umožňuje vzájemné porovnávání pohybu rtů v nátrubku získaných odlišnými experimentátory a vybavením

Označení certifikačního orgánu: CSQ-CERT, Novotného lávka 5, Praha 1

Certifikace: M027/M/2014

Datum certifikace výsledku: 2014-12-11

Způsob využití výsledku: Není licenčně vázáno (kód)

Kategorie výsledků podle nákladů:

A - Náklady <= 5 mil Kč

IC: 61384984

Příloha technického listu číslo 62

Úvod do problematiky

Hráčovy rty jsou základním zvukotvorným prvkem (oscilátorem) v komplexu hráč-žest'ový nástroj. Samotný nástroj se do značné míry chová pouze jako filtr jimi produkovaného akustického signálu. Jejich pohyb tedy zásadním způsobem určuje výsledný zvuk. Snímání a vyhodnocování jejich pohybu je pak důležitým předmětem detailního experimentálního zkoumání a hodnocení uvedené komplexní vazby hráč-žest'ový nástroj.

Periodicky se opakující rychlé kmitavé děje je možné snímat pomalejšími zařízeními při využití stroboskopického jevu (viz např. Martin, 1942). Stroboskopické metody nicméně vyžadují výskyt relativně dlouhého v čase neproměnného (stacionárního) stavu kmitání, jinak je jejich obraz výrazně zkreslující. U pohybu rtů hudebníka však ke změnám v čase dochází, takže stroboskopické snímání není pro systematické dokumentování okamžitého působení na výsledný zvuk vhodné.

Se zdokonalujícími se možnostmi video techniky jsou již dostupné kamery, které umožňují vysokorychlostní sledování pohybů nějaké struktury snímaných bodů, takže lze v čase dostatečně jemně stopovat posun trajektorie bodů měnících svou polohu mezi jednotlivými snímky. V případě pohybu rtů tak na jednu periodu mezi jejich opětovným uzavřením mohou připadnout desítky až stovky záběrů a je tedy možné zkoumat i děje měnící se z periody na periodu.

Základní problémy při jejich používání pak spočívají zejména v zajištění vhodného transparentního prostředí (nátrubku), přes které by bylo možné v „pracovní“ poloze zviditelnit pohyb rtů, a v dostatečném osvětlení snímané plochy (expoziční časy dosahují řádově desítek mikrosekund). Se stoupající frekvencí snímků se expozice zkracuje, takže množství fotonů ze zdroje světla dopadajících na světlocitlivý záznamový element kamery po odražení z jednotlivých míst povrchu za dobu krátké expozice je malé, což klade požadavky na velmi vysokou intenzitu osvětlení. K uvedeným problémům s technikou záznamu se pak následně druzí sekundární problémy, kterými jsou mlžení nátrubku, pevné uchycení celé soustavy nástroj – kamera – osvětlení a následné zpracování videozáznamů běžně dosahujících velikosti jednotek GB.

Videozáznam pohybu rtů hráče na žest'ový nástroj

Skleněný nátrubek

Tato metoda využívá pohled na rty skrz cylindrickou stěnu speciálního tenkostěnného průhledného skleněného nátrubku. Pro účely měření by bylo možné do klasického kovového nátrubku vsadit i rovinnou skleněnou destičku, ale profil takto upraveného kotlíku by výrazně ovlivňoval proudění vzduchu z úst a osvětlení rtů by bylo prostupem jen touto skleněnou plochou nedostatečné.

Komerčně dostupné plastové nátrubky (např. <http://www.kellymouthpieces.com/>) vyráběné i v průhledné čiré variantě nejsou pro záznam pohybů rtů vysokorychlostní kamerou vhodné, protože vnější a vnitřní plocha kotlíku vytváří optickou soustavu, která je pro přímé nebo jen mírně lomené paprsky buď zcela neprostupná nebo při zvolení většího úhlu zas způsobuje natolik nepravidelné zkreslení obrazu uvnitř, že vypovídací hodnota snímku je znehodnocena. Jako vhodnou náhradu kovového nátrubku lze použít skleněný nátrubek s konstantní tloušťkou stěny (dle rozměrů obvyklých nátrubků jednotlivých žest'ových nástrojů jej dokáže

vytvářovat zkušený laborant, který umí upravovat chemické laboratorní sklo). Ukázka provedení vhodných skleněných nátrubků je na Obr. 1.



Obr.1: Srovnání kovových a skleněných nátrubků, vlevo trombónové, vpravo trubkové.

Upevnění žesťového nástroje

Nástroj, na který hudebník hraje, je při záznamu potřeba uchytit tak, aby byla celá sestava nátrubek – nástroj – kamera nepohyblivá, jinak není možné získat dostatečně zaostřený videozáznam. Uchycení přitom musí být provedeno pouze pružnými spoji a na místech, kde se nástroj obvykle drží při hře (simulace měkkého úchopu nástroje prsty hráče), aby nebylo uchycením ovlivněno chvění stěn nástroje, které je při hře obvyklé, a také, aby nedocházelo k přenosu vibrací ze stěn nástroje na držák celé sestavy, včetně osvětlení.



Obr.2: Příklad držáku simulujícího měkký úchop.

Osvětlení rtů v nátrubku

V současnosti jsou vysokorychlostní kamery schopny zaznamenat mnohem více snímků za vteřinu (fps) než je obvyklých 30 fps. Pro účely snímání pohybu rtů je nutné uvažovat o kamerách, které jsou schopny zaznamenat několik tisíc až několik desítek tisíc snímků za vteřinu. Při použití osvětlení snímaných objektů napájeného z běžné elektrické sítě by bylo na záznamu patrné kolísání jasu s periodou 50 Hz. Běžné osvětlení, nezávisle na tom, jaký má výkon, je z tohoto důvodu pro záznam vysokorychlostní kamerou nevhodné. Vyhovují buď vysokofrekvenční



Obr.3: Příklad osvětlení nátrubku světlovodným kabelem

světelné zdroje nebo zdroje napájené stejnosměrným proudem. Obecně je při nasvícení malé oblasti ve skleněném nátrubku lepších výsledků dosahováno osvětlením z bezprostřední blízkosti (např. ze světlovodných kabelů nebo z LED zdroje světla, tyto zdroje mají i výhodu soustředěného osvětlení z malého bodu). Při větší vzdálenosti zdroje světla od nátrubku konkrétní tvar nástroje může zamezit kvalitnímu osvětlení rtů (u některých žesťových nástrojů může být obličej hráče jeho částmi zakryt). Kromě toho je práce s takto osvětlenou soustavou pro hráče podstatně příjemnější, než hra před vzdálenějším reflektorem nebo výbojkou, která musí mít úměrně vzdálenosti výrazně vyšší výkon a tedy je i větším zdrojem tepla.

Kvantifikace pohybů rtů hráče na žesťový nástroj

Vizuální vyhodnocení video záznamu

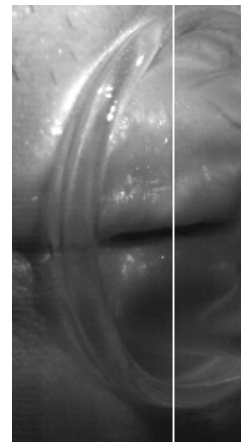
Množství informací lze získat už jen kvalitativním vyhodnocením videa zrakem. Určujícími znaky jsou:

- Délka kmitajícího úseku rtů (kmitají celé rty v nátrubku nebo jen jejich část?).
- Amplituda kmitů a její rozložení po délce rtů (kmitá střed ve fázi s okrajem rtů? apod.).
- Aktivita horního a spodního rtu (kmitají se shodnými amplitudami? ve fázi? apod.).
- Odhad modů kmitání rtů (typicky: převažují příčné kmity nebo pohyb periodického vychlívání rtů do nátrubku?).

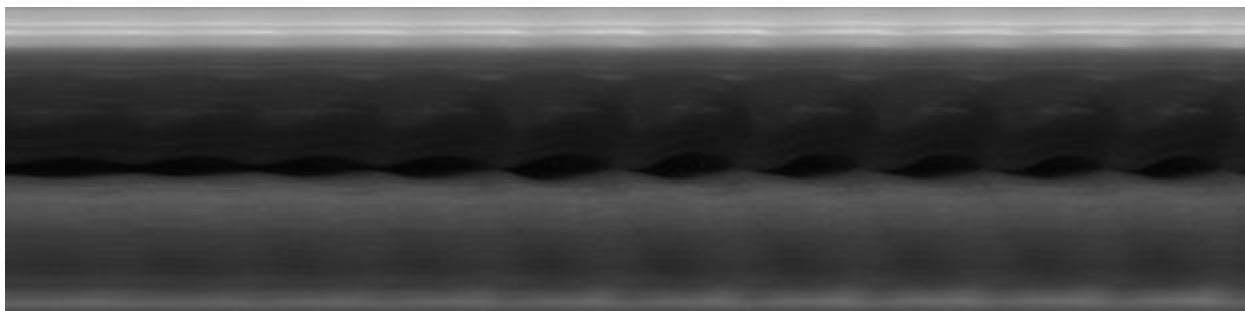
Kymografické zpracování videozáznamu

Digitální kymogram vzniká z 2D video obrazu výběrem konkrétní linie pixelů, která je vedena kolmo ke směru sledovaného pohybu, a tato linie je opakovaně vybrána na každém snímku záznamu. Příklad takové linie je na Obr. 3. Na uvedeném záběru rtů je dominantní složkou pohybu směr nahoru a dolů, takže jako kymografickou linii lze použít svislou přímku.

Řazením těchto linií vedle sebe (zde svislých přímk) v časové následnosti vzniká video kymogram, tj. obrázek s jednou prostorovou a jednou časovou dimenzí (viz Obr. 4). Jeho posouzení se už blíží kvantitativnímu vyhodnocení videa (při známé snímkovací frekvenci lze např. snadno určit základní frekvenci kmitání rtů, viz Obr. 4, pravidelné setkání horního a dolního rtu = doteky horní a spodní světlé částí).



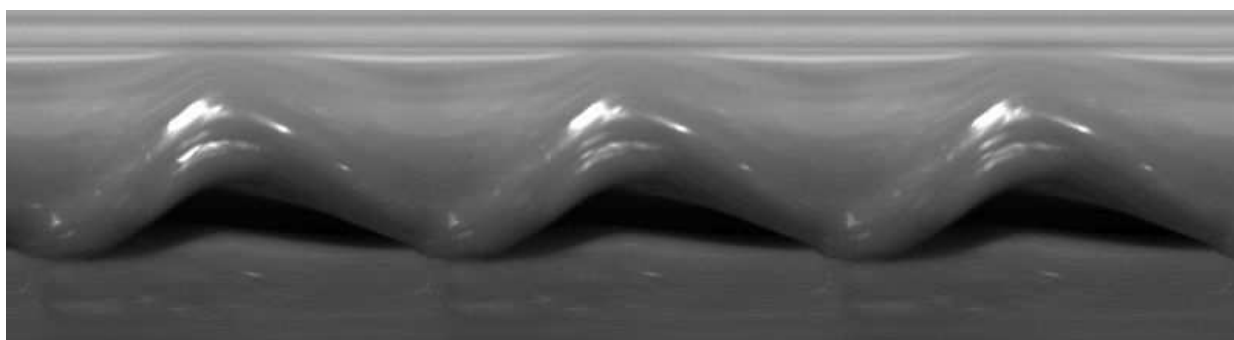
Obr.3: Příklad svislé kymografické linie pixelů



Obr.4: Příklad video kymogramu vzniklého vyskládáním pixelů z míst definovaných svislou linií na Obr. 3 na časovou osu (čas běží zleva doprava), vytvořeno ze záznamu pohybu rtů hráče na trubku.

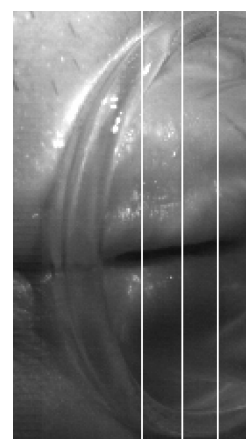
Určujícími znaky pro vizuální charakterizaci pohybu rtů z video kymogramu jsou:

- Identifikace a odlišení jasově proměnných a neproměnných oblastí snímku (proměnná tmavá část představuje neosvětlenou mezeru mezi rty a její výška odpovídá vzdálenosti horního a spodního rtu při otevření na místě svislé linie použité ke vytvoření kymogramu).
- Identifikace tvaru jednotlivých period otevření rtů (tedy porovnávání za jaký časový úsek se rty otevřou/ uzavřou, určení, zda vždy dochází k úplnému uzavření štěrbin mezi rty apod.).
- Posouzení soufázovosti kmitání horního a spodního rtu a existence a dosahu setrvačného pohybu měkkého povrchu rtu ve vzdálenějších místech od okraje štěrbin mezi rty (v kymogramu na Obr. 4 jsou zejména na horním rtu patrné světlejší pixely způsobené odleskem světla od rytmicky se objevujících prohnutí plochy povrchu rtů vyvolaných pokračováním pohybu měkké tkáně tvořící ret směrem od štěrbin, když už se vnitřní části obou rtů pohybují směrem ke sobě; tímto setrvačným pohybem dochází ke krátkodobému měštnání tkáně v některých místech a na povrchu se tak vytvářejí plošky odrážející světlo směrem ke kameře odlišně od svého okolí; tento jev je zřetelnější na kymogramu pohybu rtů hráče na trombón, viz Obr. 5).



Obr.5: Příklad kymogramu u hry na trombón (velmi nízký tón 58 Hz, výchylky rtů jsou větší oproti trubce a asymetrie pohybu není v těchto případech chybou).

- Posouzení rozdílů mezi kymogramy z různých linií (řezů) na rtech (obvykle je vhodné vizuálně porovnávat nejméně tři polohy linie pixelů použitých pro kymogram: 1. blízko u kraje nátrubku, 2. místo v ose nátrubku, 3. místo mezi těmito polohami, viz Obr. 6, případně i místo s maximální výchylkou)



Obr.6: Příklad více kymografických linií

Poznámky:

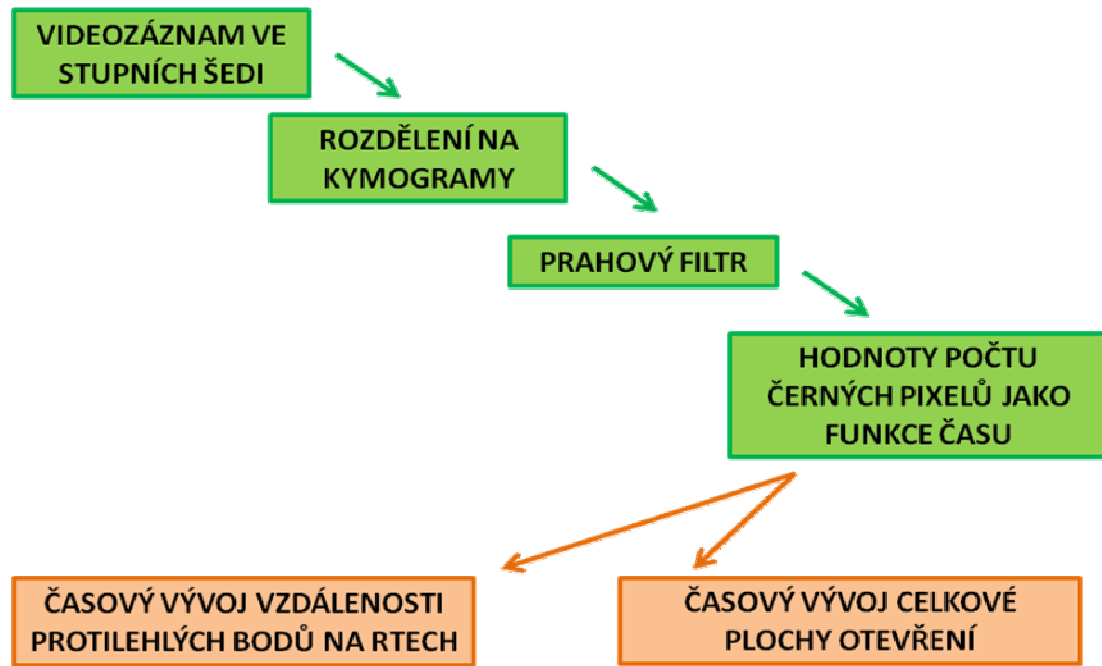
- Videozáznamy, která mají být kymograficky zpracovávána musí být ostré. U klasického obrazu je člověk schopen ze svých zkušeností „doostřit“ (lépe řečeno „dotvořit“) i méně kvalitní video a zřetelně v něm sledovat objekty, pokud je pozoruje jako celek vyvíjející se v čase. Tato schopnost se však u kymogramu ztrácí!

Jelikož mezi rty jsou pixely tmavší, než na osvětleném povrchu, lze při vhodně zvolené prahové hodnotě jasu automatizovat detekci míry otevření štěrbin mezi rty a její časový vývoj.

Kvantifikace pohybů rtů založená na video kymografii

Analýzu kymogramů lze zautomatizovat a získat výsledkový soubor objektivních dat popisující pohyb rtů při hře žesťového nástroje, který lze využít (při známém počtu snímků za vteřinu) pro dokumentování buzení zvuku daného nástroje daným hudebníkem.

Vzhledem k neustále se vyvíjejícímu hardware a software vybavení tato metodika stanovuje pouze schéma postupu měření plochy otevření štěrbin mezi rty (viz Obr. 7) a samotný postup video kymografické analýzy uvádí v pseudokódu (viz Program 1), který si uživatel metodiky převede do programovacího jazyka, který má dostupný.



Obr.7: Schéma postupu kvantifikace pohybů rtů založená na video kymografii

Program 1

```
function (output, black) = PovrchCerne(video,práh)
for j od 1 do počet kymografických řezů (pixely od kraje po osu nátrubku)
  %Vytvoření j-tého kymogramu
  for i od 1 do požadovaný počet snímků videa
    vyber sloupec pixelů na pozici j-tého řezu
    ulož i-tý vybraný sloupec do i-tého sloupce j-té kymo matice
    (počet snímků x počet pixelů ve sloupci)
  end
  %Převod j-té kymo matice na černobílý rastr pomocí prahového filtru
  for k od 1 do počet snímků j-té kymo matice
    for l od 1 do počet pixelů ve sloupcích j-tého kymogramu
      if pixel(k,l)<práh
        pixel(k,l) = černá barva
      else
        pixel(k,l) = bílá barva
      end
    end
  end
end
end
  %Výsledkem je j-tý kymogram pouze v černé a bílé.
```

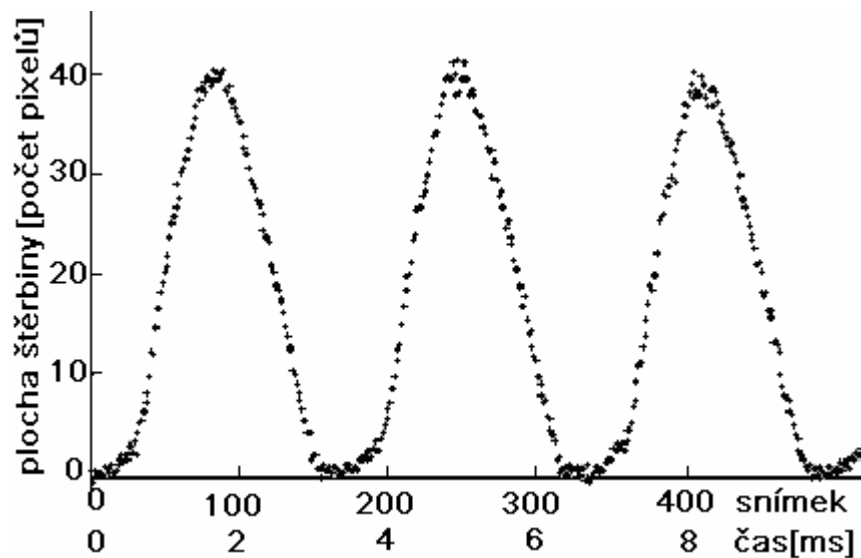
```

%Spočtení počtu černých pixelů v i-tém sloupci j-tého kymogramu
%a jejich zapsání na j,t-tou pozici matice black (počet řezů x počet
%snímků), spolu s přičtením j,t-té hodnoty black
%k t-té hodnotě výsledkového vektoru output

for t od 1 do požadovaný počet snímků videa
    for m od 1 do počet pixelů ve sloupci
        if pixel(t,m) je černý
            zvyš hodnotu black(j,t) o 1
        end
    end
    output(t)= output(t)+ black (j,t)
end
end
%Výsledkem je časový vývoj rozsahu černé v j-tém kymografickém řezu
%odpovídající časovému vývoji vzdálenosti protilehlých bodů na rtech
end
%Výsledkem je matice black s časovým vývojem vzdáleností protilehlých
%bodů na rtech (v pixelech) v j místech jednotlivých kymografických řezů
%a výsledkový vektor output s časovým vývojem černé přes všechny řezy
%odpovídající celkové ploše otevření

```

Kvantitativní vyhodnocení video záznamu pohybu rtů založené na video kymografii poskytuje časový vývoj velikosti viditelné plochy mezi vnitřními okraji horního a spodního rtu. Grafické zobrazení časového vývoje viz Obr. 8, ve kterém je přepočteno pořadové číslo snímku na čas vynásobením pořadového čísla snímku číslem 1/fps (viz popis osy x Obr. 8).

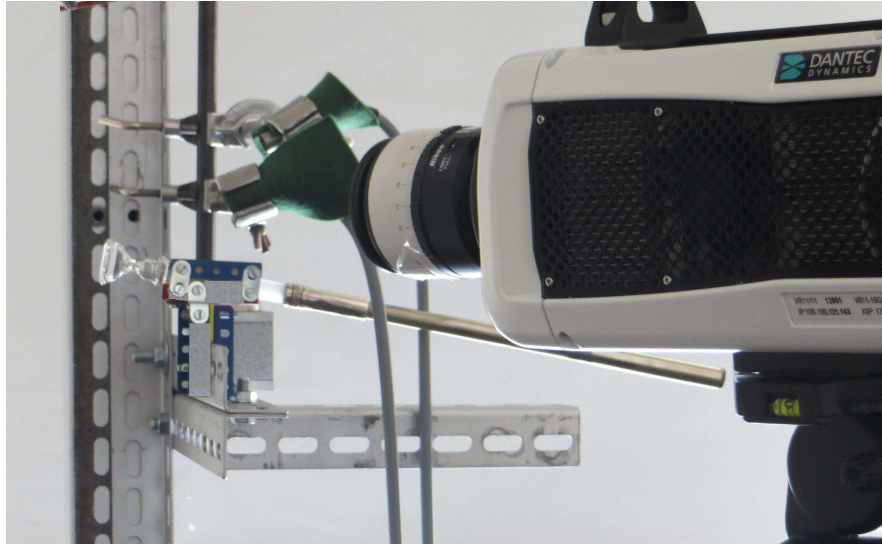


Obr.8: Výsledek kvantifikace plochy štěrbiny mezi rty založené na video kymografii

Takto získaná data je zpravidla ještě nutné dále zpracovat: odečíst vždy černé pixely a filtrovat (viz níže).

Vhodné přístrojové vybavení a software

- Vysokorychlostní kamera fps > 1000 (zde *Phantom SpeedSense 9060*, viz Obr. 9)
- makroobjektiv (zde *Nikon AF Micro Nikkor 60 mm*, viz Obr. 9)
- stojan umožňující pevné uchycení nástroje a drobné korekce vzdálenosti od objektivu kamery (příklad viz Obr. 9)



Obr.9: Stojan uchycení nátrubku, světlovodného zdroje světla a ramenem pro uchycení držáku nástroje

- držák nástroje uchytitelný na stojan simulující měkký úchop ruky hráče (příklad viz Obr. 10)



Obr.10: Držák s odpruženým uchycením nástroje

- zdroj světla (v příkladu stejnosměrně napájený *Olympus Visera CLV-S45*)
- software pro ovládání kamery, nativní součást kamery nebo obecný (zde od VISION RESEARCH software *PCC: Phantom Camera Control Application 1.3.697.0*)
- software pro analýzu (zde *MATHWORKS. Matlab 2012a*)

Základní nastavení připojení kamery k PC a softwaru PCC

- 1) Připojit kameru k počítači (zde *SpeedSense 9060* pomocí ethernetového kabelu)
- 2) V nastavení Windows ověřit přítomnost kamery (zde *SpeedSense 9060* v síťových připojení otevřít nastavení protokolu IP verze 4 a nastavit IP adresu 100.100.121.144 a masku podsítě 255.255.255.0)
- 3) Spustit software pro ovládání kamery (zde v příkladu software *PCC*)
- 4) Ujistit, že software komunikuje s kamerou (zde v *PCC* v záložce *Manager*)
- 5) Nastavit způsob synchronizace snímků; je-li kamera schopna interní synchronizace přednostně vybrat tento způsob, jinak použít externí generátor (zde v *PCC* přejít na záložku *Live* a v rolovacím výběru na *Advanced settings* v poli *External Sync* nastavit v rolovací nabídce *Sync Imaging: Internal*)

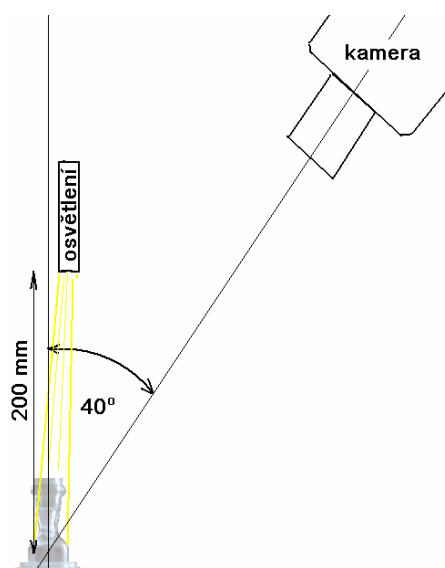
Metodika

Základní konfigurace snímací aparatury

- 1) Nástroj upnout do držáku simulujícího měkký úchop ruky hráče (viz Obr. 10). Držák připevnit na stojan (viz Obr. 9).

Poznámka: Jsou-li stojan i držáky koncipovány modulárně (jako stavebnice), je konfigurace univerzální. Je tedy možné konkrétní provedení přizpůsobit typu nástroje a osvětlení.

- 2) Kameru postavit tak, aby se její objektiv nacházel ve vhodné vzdálenosti od nátrubku vzhledem k ohniskové vzdálenosti objektivu.
- 3) V software pro ovládání kamery (např. *PCC*) nastavit snímkovací frekvenci kamery tak, aby byl obraz kontrastní i za běžného osvětlení a ujistit se, že je alespoň polovina rtů (od okraje k ose nátrubku) vidět kvalitně a bez zkreslení nerovnostmi na nátrubku. Doporučeno je vycházet z úhlu cca 40 stupňů od osy nátrubku (viz Obr.11)



Obr.11: Doporučené uspořádání nátrubek - kamera - osvětlení

Nastavení osvětlení hráčových rtů a zaostření na vybranou plochu

- 1) V případě „Bodového“ světla zdroj umístit 150-200 mm od hráčových rtů z mírného nadhledu (v těsné blízkosti osy nátrubku, jak to umožní konstrukce nástroje (příklad zakončení světlovodného kabelu pomocí laboratorního držáku viz na Obr. 12). Kvůli odleskům od skleněného povrchu nátrubku nemůže být směr světelných paprsků shodný se směrem pohledu kamery. Doporučen je směr osvětlení rovnoběžný s osou nátrubku nástroje. Tuto zásadu dodržet i u jiných než bodových zdrojů světla.



Obr.12: Příklad uspořádání nátrubek - bodové osvětlení

- 2) Pokud si to konkrétní situace vyžádá, typicky v případě, že osvětlení z nadhledu má za následek stín přes spodní ret, doplnit osvětlení druhým zdrojem světla (např. druhým světlovodným kabelem, pomocným zrcadlem apod.) ze shodné vzdálenosti, ale z podhledu.
- 3) Ujistit se (např. přiložením listu papíru k nátrubku), že světlo procházející nátrubkem netvoří na rtech obrazce dané průchodem přes některou z hran nebo ohyb.
- 4) Je-li to možné v software pro ovládání kamery zmenšit rozlišení (v *PCC* záložka *Live* – rolovací nabídka *Resolution*) tak, aby snímek obsahoval pokud možno jen nátrubek.

- 5) Umožňuje-li to kamera, tak kalibrovat čip kamery (v *PCC* stiskem tlačítka *CSR* Current Session Reference)
- 6) Zaostření je možné nahrubo provést drobnými posuny osy stojanu vzhledem k pevné podložce a až na objektivu najemno. Důležité je nastavit výšku kamery tak, aby byl objektiv v rovině hráčových rtů (tzn. nesnímat ani z nahladu ani podhledu).
- 7) Zasunout předmět s ostrou hranou (např. šroubovák) mírně do kotlíku nátrubku a zaostřit na jeho břit. Míra zasunutí břitu (měla by odpovídat předpokládanému vnoření rtů do kotlíku) závisí jednak na typu nástroje (u hlubších nástrojů s větším kotlíkem nátrubku je potřeba zasunout zaostřovaný břit hlouběji) a na výšce hudebníkem hraného tónu (hlouběji, budou-li měřeny hlubší tóny nástroje).

Vlastní snímání

- 1) Ujistit se, že snímkovací frekvence kamery (počet snímků za vteřinu fps) je dostatečná vzhledem k tónu, který bude nahráván (volit minimálně dvacet až třicetinasobek frekvence snímaného tónu). Orientační výpočet lze provést pomocí vzorce:

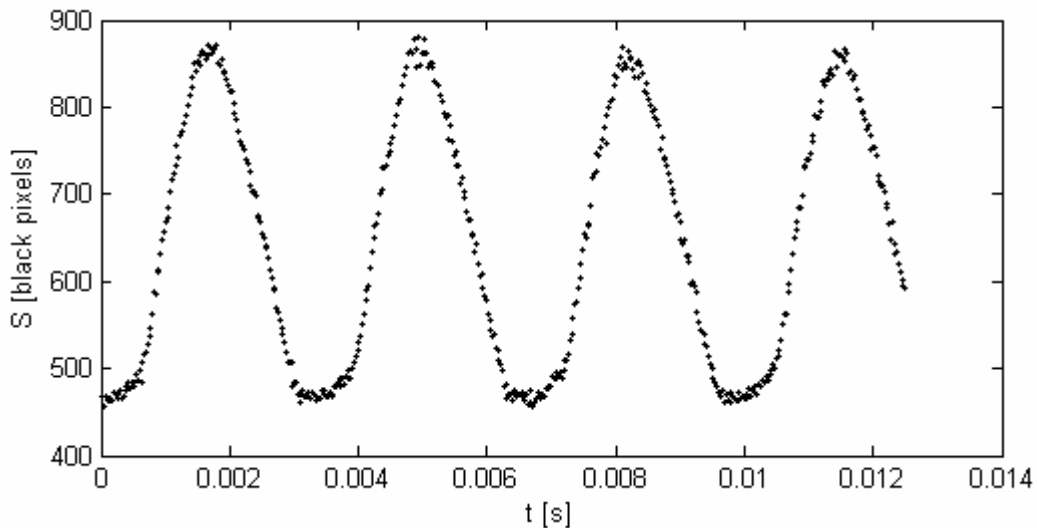
$$\text{fps} > 20 \cdot (\text{frekvence hraného tónu})_i = 20 \cdot (440 \cdot 2^{i/12}),$$
 kde i je pořadové číslo odpočítané od komorního a' (440 Hz), tedy počet pultónů od hraného tónu ke komornímu a' (se znaménkem - u tónů nižších a + u tónů vyšších).
- 2) Kvůli předcházení mlžení skleněný nátrubek buď nahřát v teplé vodě nebo nastříkat příslušným roztokem na brýlová skla (komerčně běžně dostupné; musí splňovat normu ASTM F963 – při kontaktu s pokožkou nebo pozření nedochází k žádnému podráždění apod.). Hráč by měl po přiložení rtů ihned zahájit hru, neměl by nátrubek zadýchávat.
- 3) Umožňuje-li to kamera, tak nastavit snímání tak, aby se paměť kamery zaplňovala nebo záznam realizoval až na definovanou událost (v *PCC* po zmáčknutí *Trigger*, posuvník na liště při tom nastavit nejvíce doleva, lišta je pak celá zelená).
- 4) Instruovat hudebníka, aby hrál pokud možno přirozeně, nevlhčil jazykem vnitřek nátrubku a rty měl postavené v nátrubku vodorovně.
- 5) Podle typu úlohy hudebníka spuštění záznamu (např. *Trigger*, *Start* apod.) zmáčknout buď těsně před zahájením hry nebo až po zahájení (resp. až v okamžiku začátku zkoumaného úseku tónu – kvůli mlžení stěny nátrubku by neměla být doba před začátkem snímání příliš dlouhá!).
- 6) Prohlédnout si zaznamenané video (v *PCC* přejít od záložky *Live* na záložku *Play*). Zpravidla není nutné ukládat a archivovat celý záznam kamery, protože snímky mohou obsahovat např. časový úsek před vlastní hrou, úsek již zamlžený nebo jinak nekvalitní.

Poznámka: Kvůli celkové časové i datově kapacitní ekonomičnosti experimentu je důležité nekvalitní částí záznamů z kamery nepřenášet/ neukládat na disk, je vhodné též přizpůsobovat fps úloze hudebníka a frekvenci hraného tónu. Nedodržení těchto doporučení vede ke vzniku „odpadních“ dat o velikostech řádu Gigabytů, ze kterých pak nelze získat žádné informace!

Zpracování záznamů pomocí kymografie a úprava výsledných časových průběhů

Automatizované výpočty realizovat podle Programu 1. Je-li posuzován časový vývoj vzdálenosti horního a dolního vnitřního bodu na rtech, vzhledem k možnému šumu v obraze, není obecně vhodné se omezit přímo na jediný kymografický řez, ale je vhodné použít průměr např. ze tří vedle sebe ležících pixelů v linii šířky rtů.

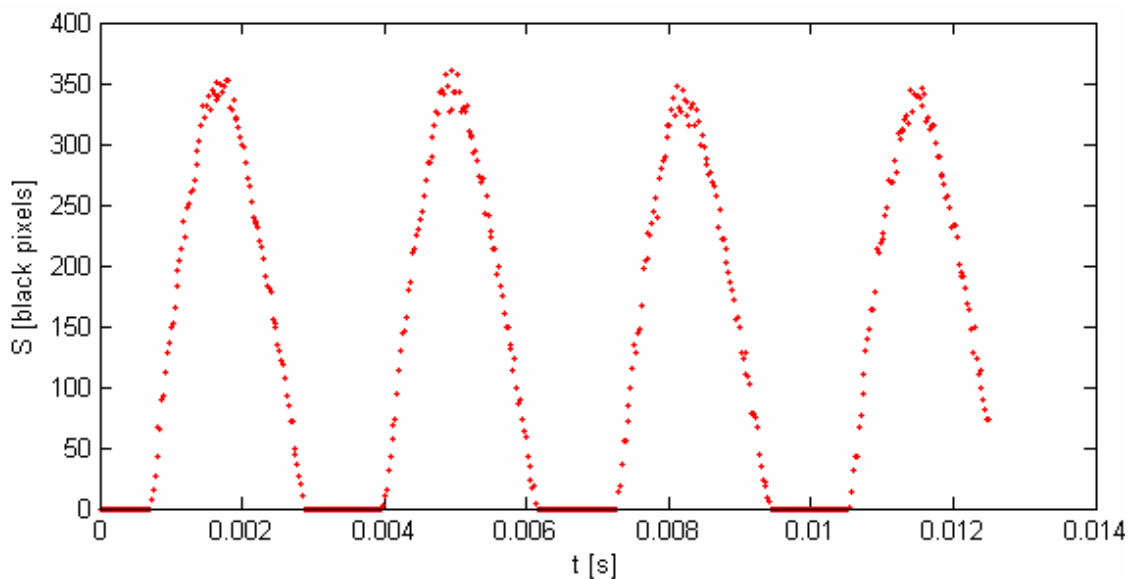
Pro zpracování časového průběhu plochy otevření rtů (viz Obr. 13) je vhodné provést ještě další úpravy hodnot získaných Programem 1.



Obr.13: Časový průběh plochy otevření rtů, výstup kymografické analýzy záznamů kamery

Před vlastním zpracováním dat numerickými metodami (derivace, spektrogram) je potřebné určit hodnotu nulové hladiny černých pixelů, která odpovídá zavřeným rtům a zbavit data šumu.

Při uzavření rtů by na snímku neměly být žádné černé body. Existence nenulových nejnižších hodnoty ve výsledkovém souboru je důsledek šumu nebo nejrůznějších i časově neproměnných velmi tmavých stínů, které při automatickém vyhodnocení měly náhodně hodnotu menší než nastavený jasový práh (viz Program 1). Opravu na nulovou vzdálenost mezi horním a dolním rtem nebo na nulovou plochu otevření rtů lze provést hledáním minimálních hodnot ve výstupních souborech, tzn. provést výpočet histogramu kumulováním počtu výskytu jednotlivých hodnot v čase/ kymografických řezech (protože v zavřeném stavu zůstávají rty delší dobu, je četnost minimálních hodnot zřetelně vyšší). Nalezenou velmi četnou minimální hodnotu (s přiměřenou rezervou dle rozdělení četnosti v histogramu) je pak vhodné od všech hodnot odečíst (případně vzniklé záporné hodnoty vynulovat). Příklad výsledku takovéto úpravy je na Obr. 14 :

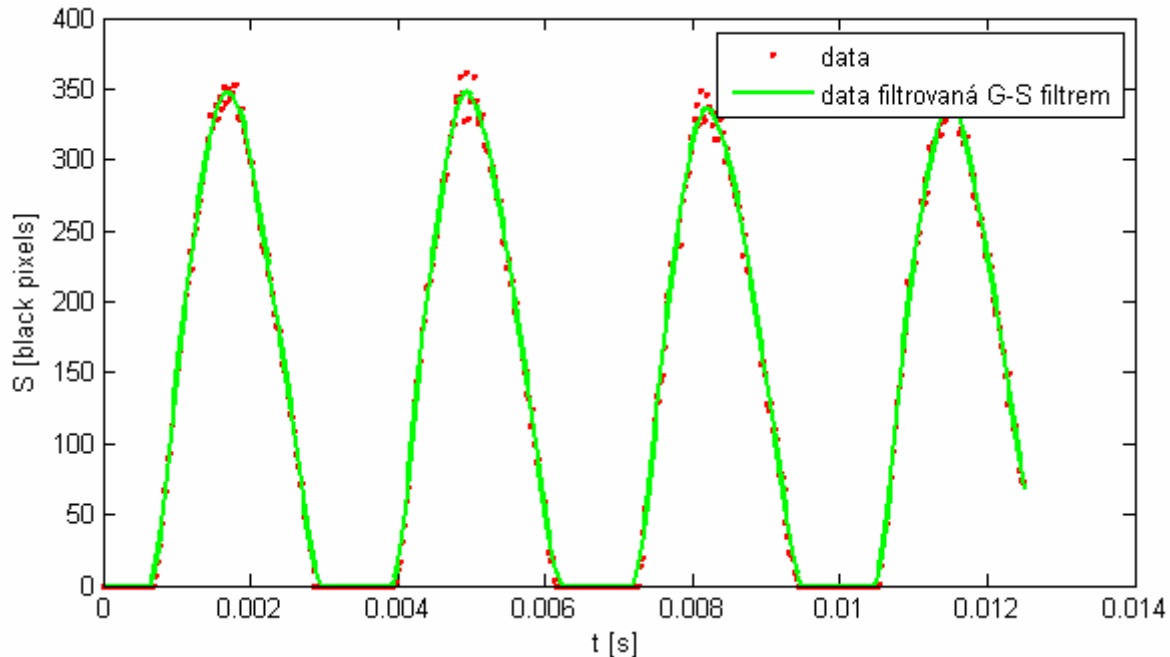


Obr.14: Časový průběh plochy otevření rtů, úprava na nulovou plochu při zavření rtů

K odstraňování vlivu šumů a náhodných nepravidelností v časovém průběhu, lze použít různých metod. Ne všechny jsou vhodné pro tento typ dat. Vyhlazování dat průměrováním (i váženým) několika sousedních hodnot je pro oscilující data velmi nevhodná metoda, protože

může měnit polohy i amplitudy maxim, které jsou důležité pro posouzení pohybu rtů. Stejně tak není zcela vhodné užití Fourierovy transformace a odstranění vysokých frekvencí považovaných za šum: vzhledem k tomu, že se v signálu pravidelně opakuje konstantní část průběhu $S(t)$ (fáze úplného uzavření rtů), je potřeba ve spektru sledovat i velmi vysoké frekvence, a nikoli je odstranit při odšumování. Fourierova transformace (algoritmus Fast Fourier Transform) jako nástroj numerického odstranění šumu může způsobovat falešný obraz oscilací i na reálně konstantním průběhu.

Uživatelsky příjemnější, a vzhledem k povaze filtrovaných dat i přesnější, je užití *Golay-Savitzkého* filtrů (např. MATLAB funkce *sgolayfilt*), jejichž podstata spočívá v polynomiální regresi (nevolit vyšší stupeň polynomu než 3). Výsledky použití této filtrace viz Obr. 15.



Obr.15: Časový průběh plochy otevření rtů upravený Golay-Savitzkého filtrem

V příkladu vyfiltrovaného grafu na Obr. 15 byly vynulovány záporných hodnoty vzniklé jako důsledkem použité filtrace (počet bodů záporného překmitu a velikost závisí na použité délce okna filtru a stupni použitého regresního polynomu).

Vyhodnocení pohybů rtů hráče na žesťový nástroj

Jak popis vizuální inspekce video záznamů a video kymogramů, tak časové průběhy plochy otevření rtů nebo časové průběhy vzdálenosti mezi rty v jednotlivých kymografických řezech jsou přímo použitelné pro identifikaci jiným způsobem neodhalitelných fyzikálních příčin vzniku tónu žesťových hudebních nástrojů.

Používání jednotné metodiky při měření a zpracování dat je nezbytné pro možnost porovnávání a zobecňování výsledků realizovaných různými lidmi a na různých pracovištích. Přínosné je zejména při sledování rozdílů mezi hudebníky při hře na týž nástroj a nátrubek, při sledování rozdílů mezi technikami hry a různým zněním tónů, při sledování rozdílů mezi nástroji rozdílné kvality přehrávané týmž hudebníkem nebo pro zobecnění vlivu kvality konkrétního nástroje na kmitání rtů všech hudebníků, kteří na daný nástroj hrají.

Literatura

MARTIN, Daniel W. Lip Vibrations in a Cornet Mouthpiece. *Journal of Acoustical Society of America*. 1942, 13(3).