

SÍŤOVÉ KOLABORATIVNÍ PROSTŘEDÍ PRO PODPOU 3D MEDICÍNY

***Přemysl Kršek, Michal Španěl, Miroslav Švub, Vít Štancl,
Ondřej Šiler, Rade Bartoň***

Anotace

Článek se věnuje problematice síťového konzultačního kolaborativního systému, který je určen pro praktickou podporu aplikací 3D geometrické modelování v humánní medicíně. Tento systém umožňuje nahrát CT/MR obrazová diagnostická data ve standardním formátu DICOM a připravené 3D modely tkání. Nad touto 3D scénou je možné prostřednictvím počítačové sítě realizovat vzdálené 3D konzultace mezi techniky a lékaři, teoreticky v rámci celého světa. Systém je koncipován jako třívrstvá klient-server architektura. Komunikace mezi klienty a serverem probíhá prostřednictvím protokolu HTTPS.

Klíčová slova

Kolaborace, medicína, 3D modelování, CT/MR data, síť

1. Úvod

V moderní humánní medicíně se stále více používají nejrůznější pokročilé technologie, jako jsou např. v diagnostice Počítačová tomografie (CT) nebo Magnetická rezonance (MR). Další technologie (např. 3D geometrické modelování tkání) umožňují využít takto získaná data pro plánování a simulování operací, navigace, výrobu implantátů na míru atd. Existuje ještě mnoho takovýchto příkladů [1] [2].

Tato skutečnost však přináší stále větší nároky na spolupráci lékařů s techniky, kteří jsou schopni moderní technologie efektivně používat. Velmi důležité je využít získaná data nejen pro diagnostiku, ale také pro další zkvalitnění ošetření pacientů. K dosažení této úrovně je nezbytná efektivní spolupráce lékařů a techniků.

Současná praxe využití diagnostických obrazových dat (CT/MR data) je ve většině případů založená na odborném radiologickém vyhodnocení získaných obrazových dat a vytvoření slovního popisu nálezu (diagnóza). Na základě nálezu pak ošetřující lékař provádí navazující léčbu. V relativně malém procentu případů jsou diagnostická obrazová data přímo použita například pro přesné plánování operací, navigace (např. stereotaktická navigace v neurochirurgii) nebo výrobu implantátů na míru atd.

Na světě existuje několik komerčních společností, které příslušné služby

lékařům nabízejí, například při návrhu a výrobě speciálních implantátů na míru (Johnson&Johnson, Synthes atd.). Lékař pouze pošle příslušné firmě CT/MR data a dostane vyrobený implantát. Spolupráce mezi firmou a lékařem je však omezena. Lékař má jen velmi malý vliv na výsledek a možnosti konzultací jsou výrazně redukovány.

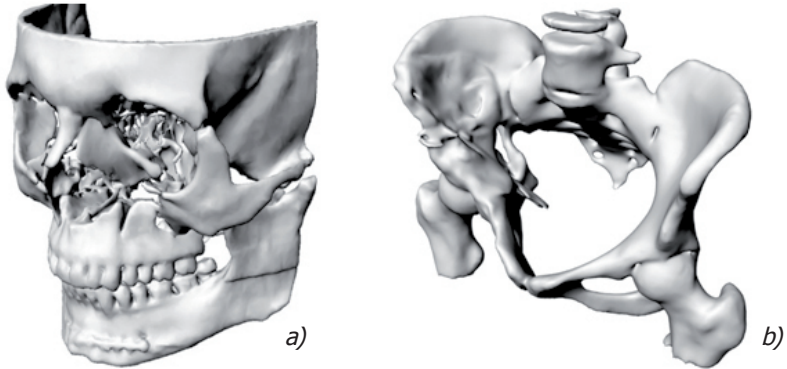
Ideálním řešením by bylo nabídnout lékařům službu zpracování CT/MR dat a přípravy klinických 3D aplikací a při tom jim umožnit efektivní konzultace s technikou, kteří se na realizaci dané služby podílejí. Tato služba by při tom měla fungovat nezávisle na časoprostorových vztazích lékařů a techniků. Lékař pak může zároveň konzultovat s technikem komerční firmy v jiné zemi a dalším lékařem (lékaři) ve vedlejší nemocnici, městě, státě atd. Právě pro tyto potřeby vyvíjíme náš Síťový kolaborativní systém zaměřený na podporu klinických aplikací 3D geometrického modelování v humánní medicíně, na základě CT/MR dat.

2. Stav problematiky

Náš tým se posledních 7 let intenzivně věnuje problematice tvorby 3D geometrických modelů lidských tkání na základě CT/MR dat [8]. Vytvořené 3D modely tkání jsou následně používány pro individuální plánování, simulaci nebo navigaci klinických aplikací (operací). Podílíme se na realizaci aplikací v klinických oborech: stomatologie, ortopedie, plastická chirurgie, maxilofaciální chirurgie a neurochirurgie.

V současné době pracuje většina moderních nemocnic v bezfilmovém režimu. Všechna diagnostická obrazová data (RTG, CT, MR, US atd.) jsou v tom případě uložena v digitálním obrazovém archivu (PACS). Prostřednictvím počítačových sítí je možné tato data bez větších problémů přenášet mezi nemocnicemi teoreticky v rámci celého světa. PACS systémy však umožňují pouze přenos a archivaci obrazových dat. Nejsou schopny zabezpečit funkce on-line konzultací (VCE – virtuální kolaborativní prostředí) [3] [4]. Pro fungování VCE však mohou být PACS systémy velmi dobrými zdroji digitálních CT/MR dat, nad kterými pak probíhají on-line konzultace.

Mezi klasické prostředky komunikačních technologií patří videokonference. Ty jsou však zaměřeny na komunikaci mezi osobami (sdílení obrazu a zvuku). Bez nároku na kvalitu síťového připojení je velmi problematické realizovat prostřednictvím videokonferencí kvalitní a plnohodnotné VCE konzultace. Největším problémem je zajištění interaktivní práce s daty pro všechny zapojené osoby. Proto se poslední 3 roky věnujeme vývoji vlastního VCE systému, který by umožňoval několika zapojeným osobám interaktivně sdílet a upravovat 3D scénu složenou z CT/MR dat a 3D modelů tkání.



Obr. 1 – Příklad realizovaných 3D aplikací: a) Plánování traumatické lebky v maxilofaciální chirurgii, b) Plánování individuální náhrady kyčelního kloubu v ortopedii.

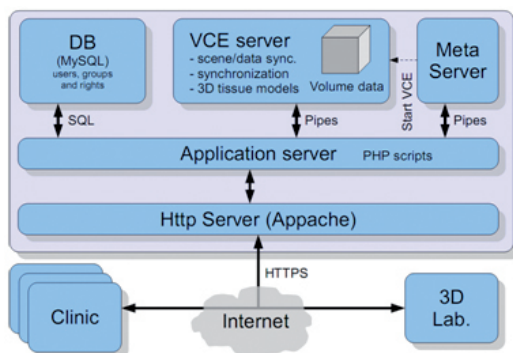
3. Síťové kolaborativní prostředí

Současný VCE systém je postaven jako čistá služba bez archivace CT/MR dat. Server má v databázi pouze správu uživatelů, jejich oprávnění a skupin. Na serveru pak běží pouze aktivní VCE sezení, kterých může být najednou několik (až desítky). K VCE sezením se pak podle příslušnosti do skupin připojují jednotliví uživatelé (až desítky).

Současný VCE systém je stále realizován jako třívrstvá architektura typu klient – server. Klientské aplikace se připojují k servrové části přes standardní aplikační WWW server, který zajišťuje veškerou síťovou komunikaci protokolem HTTPS. Od WWW serveru přebírá požadavky, prostřednictvím aplikační vrstvy, vlastní VCE server. VCE server má kopii veškerých dat, eviduje jejich změny a zajišťuje synchronizaci. Grafičtí klienti (tlustý klient) si synchronizují veškerá data ze serveru (mají jejich kompletní kopii) a zajišťují jejich správné 3D zobrazení, případně zpracovávají změny ve scéně a posílají je na server. Komunikaci mezi VCE serverem a WWW serverem zajišťuje aplikační vrstva ve formě PHP skriptů (Obr. 2).

Interaktivní on-line komunikace (kolaborace) mezi připojenými uživateli VCE sezení (klienty) je řešena formou aktivního držení „tokenu“. Pouze jeden klient může mít v daném čase přidělen token, který ho opravňuje měnit data a stav scéně (otáčet, posouvat řezy, zobrazovat modely atd.). Klienti se v držení tokenu podle potřeby střídají. Všechny změny scéně jsou od klienta s tokenem zasílány VCE serveru. VCE server udržuje historii změn a příchozím operacím přiděluje tzv. virtuální čas, který je po každé změně inkrementován. Ostatní klienti periodicky žádají VCE server (interval ~ 100 ms) o zaslání nových změn. VCE server jim zašle změny

odpovídající rozdílu virtuálních časů (klienta a serveru). V případě přerušení spojení s aktivním klientem (držitelem tokenu) mu VCE server po dané době (60 s) token odebere. Totéž se stane v případě jeho nulové aktivity.



Obr. 2 – Blokové schéma VCE systému.

3.1. Server

Serverová část VCE systému je realizována jako třívrstvá architektura s ohledem na maximální využití existujících standardů a hotových řešení. Část pro síťovou komunikaci tvoří standardní WWW server (Apache), který zajišťuje bezpečnou HTTPS komunikaci s připojenými klienty. Malá SQL databáze (MySQL) je zde pouze pro uložení několika jednoduchých tabulek se seznamem možných uživatelů VCE systému, jejich práv a skupinám uživatelů. Metaserver (C++ implementace) spouští a ukončuje běh jednotlivých VCE serverů. Každý spuštěný VCE server pak představuje jedno VCE sezení. Díky Metaserveru běží VCE servery mimo práva vlastníka WWW serveru, což posiluje bezpečnost a robustnost celého řešení (Obr. 2).

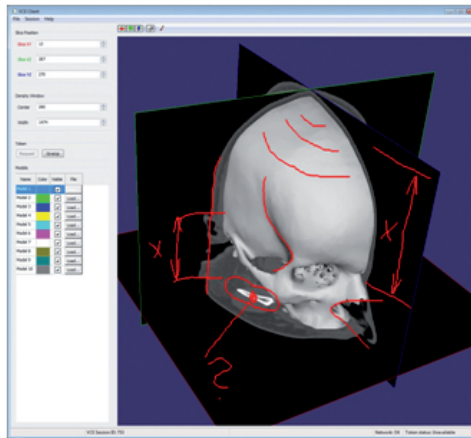
Aplikační VCE server je implementován v C++ jako vícevláknová aplikace, aby bylo zamezeno čekání na data a odpovědi a bylo tedy možné obsluhovat velké množství klientů najednou. Komunikace probíhá jednorázově stylem odpověď serveru na dotaz klienta. Serverová aplikace je proto na klientech nezávislá. Spuštěním jednotlivých VCE sezení jako samostatných procesů na serveru lze dosáhnout velice dobré úrovně škálovatelnosti celého systému.

Mezi WWW serverem a VCE serverem leží aplikační vrstva realizována formou PHP skriptů. Prostřednictvím PHP je obsluhováno také spojení s SQL databází a Metaserverem. Celý server nakonec běží na operačním systému CentOS Linux, na platformě x86.

3.2. Klient

Druhou podstatnou částí VCE systému je grafická klientská aplikace (VCE klient). Ta je určena především pro 3D zobrazení scény složené z CT/MR dat a 3D modelů vybraných tkání. Se scénou je možné provádět základní vizualizační operace, jako je 3D rotace, zoom a posun. Dále je možné posouvat třemi základními multiplanárními řezy CT/MR dat (axiální, sagitální, coronární) a definovat densitní okénko (přidělení stupňů šedi hodnotám CT/MR dat). Do zobrazení CT/MR dat je možné zobrazovat importované 3D geometrické modely tkání. Pro podporu kolaborativních funkcí celého VCE systému je možné do 3D zobrazení scény kreslit myší od ruky volné anotační křivky (polyline) (Obr. 3).

VCE klient je „tlustý“ klient, takže má kompletní kopii všech dat scény. Tato data (CT/MR data, 3D modely tkání, anotační křivky atd.) a parametry jejich zobrazení (transformační matice a projekce, parametry densitního okénka atd.) jsou synchronizována s VCE serverem. Synchronizace VCE klienta a VCE serveru (update) probíhá periodicky (interval ~ 100 ms, podle parametrů sítě).



Obr. 3 – Snímek obrazovky VCE klienta.

Pokud byl klientovi přidělen token (právo provádět změny ve scéně), při updatu se nové změny zakódují do několika TGDů a odešlou na VCE server. Pokud klient nemá token, při updatu se na VCE server pošle TGELD s požadavkem na synchronizaci dat. Jako odpověď přijdou TGELDY s daty, které se od posledního updatu změnily, podle aktuálního virtuálního času.

Klientská aplikace implementována v C++ a založena na 3D grafické knihovně OpenSceneGraph. Síťová komunikační vrstva aplikace využívá pro práci s protokolem HTTPS knihovnu Curl. GUI rozhraní je vytvořený pomocí toolkitu wxWingets.

3.3. Testování

Vývoj a ladění celého VCE systému probíhal na našem pracovišti FIT VUT v Brně. Proto jsme pro ověření vlastností VCE systému prováděli testování také mimo naše pracoviště v různých podmínkách potenciálního reálného nasazení, tedy na klinikách fakultních i lokálních nemocnic v rámci České republiky. Toto testování probíhalo v několika úrovních: v rámci metropolitní sítě města Brna (10 – 100 Mb, ping do 20 ms); v rámci měst v České republice (10 – 100 Mb, ping do 25 ms). Připravují se testy v rámci konferencí Terena 09 a Apan meeting 09.

Výsledky provedených testů jsou zobrazeny v příložených grafech (Obr. 4). Měření probíhalo po načtení kompletních CT/MR dat a 3D modelů tkání, ve fázi standardní synchronizace stavu scény. Server má hardwarovou konfiguraci: 2xIntel Xeon 2,1 GHz (dual core), celkově 4 GB RAM, Raid 5 diskové pole 4,3 TB. Server je připojen na páteřní síť 1 Gbit. Umístění serveru je na FIT VUT v Brně.

Datový tok na jednom VCE klientovi se podle aktuálních podmínek pohybuje na úrovni 1 kB/s ~ 10 kB/s, při standardní synchronizaci scény. Při počátečním stahování CT/MR dat se dočasně datový tok může zvýšit na 100 kB/s ~ 10 M

4. Závěry

Na základě předchozích zkušeností s klinickými aplikacemi jsme navrhli, implementovali a testovali VCE systém pro online síťové konzultace přípravy klinických aplikací ve 3D medicíně.

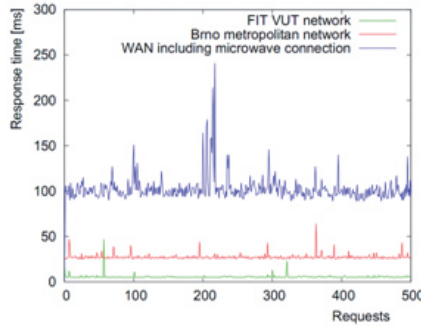
Pro implementaci VCE systému jsme záměrně použili maximální množství standardních Open Source komunikačních prostředků a nástrojů (WWW server Apache, MySQL databáze, PHP, HTTP/HTTPS knihovna Curl atd.) Tyto prostředky jsou nezávisle vyvíjené, testované a dlouhodobě ověřené. Proto může být i naše řešení maximálně spolehlivé, robustní a dostupné. My se pak můžeme soustředit na vlastní problematiku VCE řešení a vývoje VCE klientů.

Výsledky testování VCE systému v různých podmínkách ukazují, že navržené řešení je plně funkční a použitelné pro účely on-line síťových konzultací ve 3D medicíně. Po dokončení všech kliniky požadovaných funkcí klienta (měření densit a vzdáleností atd.) je možné tento systém bez větších problémů klinicky nasadit, minimálně v rámci podmínek České republiky nebo srovnatelných.

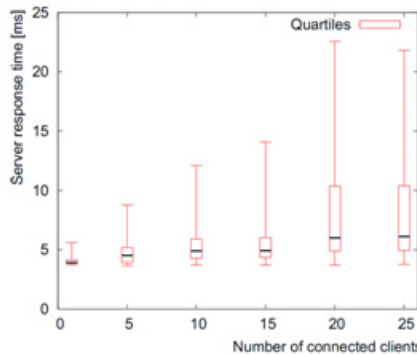
Přes použití standardních prostředků implementace internetových aplikací (WWW server, PHP atd.) je výkon serveru velmi dobrý (odezva průměrně 5 ms ~ 10 ms). Rozhodující vliv zde mají vlastnosti sítě. Díky tomu je možné celé řešení velmi snadno škálovat a rozšiřovat. Přenesením na výkonnější hardware nebo virtualizací je možné pružně přizpůsobovat

požadavky systému a obsluhovat najednou desítky klientů jednoho VCE sezení při desítkách najednou běžících VCE sezeních.

Datové toky na klientovi i na serveru nepředstavují při dnešních kapacitách síťového připojení žádné problémy ani pro omezené podmínky lokálních pracovišť. Jako největší omezení ze strany počítačové sítě se ukazu-



a)



b)

Obr. 4 – a) Odezva na straně klienta podle typu sítě: lokální síť na FIT VUT v Brně (ping ~ 5 ms), Brno MAN (ping ~ 20 ms) a Brno – Ostrava WAN včetně mikrovlnného spojení (ping ~ 50 ms), b) Interní odezva na straně serveru podle počtu připojených klientů, boxplot.

je její latence. Pokud je hodnota latence sítě do ~ 50 ms (běžné v celé České republice), pak je odezva klientů zcela dostačující. Proběhne 5 ~ 10 update klienta za sekundu, bez větších zpožděních v komunikaci. Při větších latencích sítě je odezva klienta relativně stále stejná, pouze dochází ke zpoždění komunikace (díky vícevláknovému připojení klienta).

VCE systém zajišťuje pouze kolaboraci 3D scény s CT/MR daty. Žádné jiné komunikační prostředky nejsou zatím implementovány. Proto je vhodné kombinovat použití VCE systému s dalšími **multimediálními prostředky (NetMeeting, Skype, VoIP, atd.).**

Poděkování

Tento výzkum je podporován grantovými projekty MSM6383917201 CZ a MSM0021630528 CZ

Literatura

- [1] A. F. Hueck, P. Steiger, D. W. Stoller, C. C. Guer, H. K. Genant: Quantif. of knee joint fluid volume by MR imaging and CT using 3D data processing. *J Comput Assist Tomogr* 13(2): 287–293, 1989.
- [2] R. K. Hall: The role of CT, MRI and 3D imaging in the diagnosis of temporomandibular joint and other orofacial disorders in children. *Aust Orthod J.* 13(2): 86–94, 1994.
- [3] Krupa P., Kršek P., Černochová P., Molitor M.: 3–D real modelling and CT biomodels pplication in facial surgery, In: *Neuroradiology*, Berlin, DE, Springer, 2004, p. 1, ISBN 0028–3940
- [4] Pečiva Jan: Active Transaction Approach for Collaborative Virtual Environments, In: *ACM International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications (VRCIA)*, Chinese University of Hong Kong, HK, ACM, 2006, s. 171–178, ISBN 1–59593–324–7
- [5] Španěl M., Kršek P.: Vector–based Medical Image Segment. using Adaptive Delaunay Triangul., In: *Proceedings of the Sixth IASTED International Conference on Visualization, Imaging, and Image Processing*, Mallorca, ES, ACTA Press, 2006, ISBN 0–88986–600–7
- [6] Kršek P., Španěl M., Švub M., Štancl V., Šiler O., Sara V.: Consultation Virtual Collaborative Environment for 3D Medicine, In: *Engineering in Medicine and Biology Society Proceedings*, Vancouver, CA, 2008, s. 4540–4543, ISBN 1–4244–0788–5

Kontakt:

Přemysl Kršek
FIT VUT v Brně
Božetěchova 2
612 66 Brno
e-mail: krsek@fit.vutbr.cz