



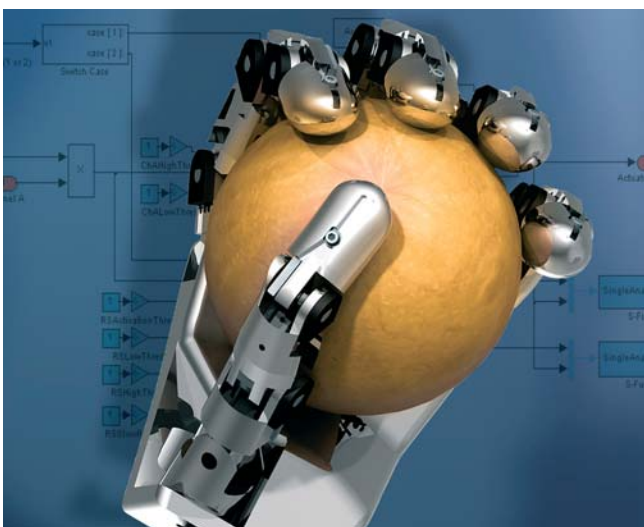
Návrh protetické paže v prostředí MATLAB & Simulink

Jen málo lidí si dovede představit, jak složité procesy probíhají mezi nervovou, mechanickou a smyslovou oblastí

lidského těla při tak jednoduchém pohybu, jako je zvednutí balónku. K vytvoření umělé paže schopné přirozeného

pohybu je nutné tyto systémy imitovat a zvládnout i jejich náročnou interakci. Ke splnění stanoveného cíle byly

využity nejnovějších technologie v oblasti pohonů, senzorů, mikroprocesorů a řídicího software.



Applied Physics Laboratory (APL) na Univerzitě Johna Hopkinse je jedním z nejvýspělejších výzkumných center na světě v oblasti protetiky. Projekty, které jsou zde řešeny, zdaleka překračují funkčnost běžných, v současnosti dostupných protéz. To se týká i projektu pro program DARPA Revolutionizing Prosthetics, který má za cíl vyvinout novou umělou horní končetinu. Řídicí algoritmus protézy bude v konečné verzi připojen k nervové soustavě člověka, takže bude možné vykonávat běžné úkony s rychlostí, obratností a silou srovnatelnou se skutečnou rukou. Bude tu i sensorická zpětná vazba pro vnímání síly, tlaku, teploty a dalších fyzikálních signálů.

Základním milníkem při zpracování projektu byl vývoj virtuálního integrovaného prostředí (VIE) pro simulaci kompletní končetiny. VIE bylo vytvořeno pomocí nástrojů MATLAB a Simulink firmy MathWorks. MATLAB je interaktivní vývojové prostředí pro vědeckotechnické výpočty, návrh algoritmů a tvorbu aplikací, zatímco Simulink je nadstavba MATLABu určená pro modelování a simulaci dynamických systémů a jejich propojení s algoritmy pro řízení a zpracování signálu. Simulink je základní platformou pro návrhovou metodu Model-Based Design. Využití těchto prostředků umožnilo kooperaci několika týmů zaměřených na specifické oblasti návrhu a dalších dvou desítek partnerských organizací.

Model-Based Design byl využit i při modelování mechaniky paže, testování nového algoritmu dekodování nervových vstupů, vývoji a ověřování řídicích algoritmů a v dalších klíčových fázích vývoje.

Architektura VIE

Virtuální prostředí VIE sestává z pěti hlavních modulů: vstupy, analýza signálu, řízení, soustava a prezentace. Vstupní modul obsahuje veškerá zařízení, která může pacient využít pro zadávání pokynů. Takovými za-

řízeními mohou být povrchový elektromyogram (EMG), kortikální implantáty, implantovatelné myoelektrické senzory (IME), ale i řada dalších, běžněji využívaných zařízení, jako jsou přepínače a joysticky.

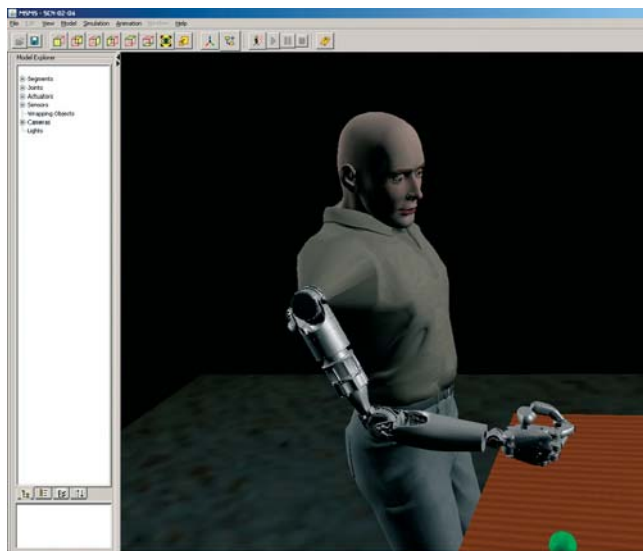
Modul analýzy signálů slouží pro jejich zpracování a filtraci. Jeho nejdůležitější součástí jsou algoritmy z oblasti rozpoznávání vzorů, pomocí kterých interpretuje požadavky uživatele ze snímaných vstupních signálů. Požadavky jsou pak předávány řídicímu modulu, který ovládá motory pohyblivé paží, rukou a prsty umělé končetiny. Tím je dosaženo požadovaného pohybu.

Modul soustavy obsahuje fyzikální model mechaniky končetiny a modul pro prezentaci poskytuje 3D vizualizaci pohybu umělé paže (obr. 1).

Propojení s nervovým systémem

Zásadní přínos Simulinku a VIE se ukázal při návrhu propojení umělé končetiny s nervovým systémem, které umožňuje přirozenou a intuitivní kontrolu pohybu. Návrháři nejprve naměřili data z výstupů nervových implantátů, zatímco subjekt prováděl ve virtuálním prostředí některou ze základních operací, jako je uchopení předmětu. Data byla předána vstupnímu modulu VIE a funkce naprogramované v MATLABu dekodovaly záměry subjektu. Základem funkcí byly algoritmy rozpoznávání vzorů, pomocí kterých byly korelovány nervové aktivity s prováděným pohybem. Výsledky byly integrovány zpět do VIE, kde mohla být prověřena funkčnost při práci v reálném čase.

Stejný postup byl použit pro všechna ostatní vstupní zařízení, z nichž některá již byla vyzkoušena uživateli protetických paží na Rehabilitačním Institute of Chicago.



Obr. 1: 3D zobrazení umělé končetiny



Návrh řízení prototypu

Moduly pro analýzu signálu a řízení tvoří jádro řídicího systému a v konečné podobě budou dodávány s umělou končetinou. Jejich software byl vytvořen výzkumným týmem z APL. Algoritmy byly naprogramovány v jazyce Embedded MATLAB a vloženy do Simulinkových modelů systému pomocí bloků uživatelských funkcí. Prototyp řídicího systému pracující v reálném čase byl vytvořen pomocí nadstavby MATLABu pro automatické generování spustitelného kódu z navržených Simulinkových modelů. Kód byl spuštěn na testovací real-time platformě xPC Target.

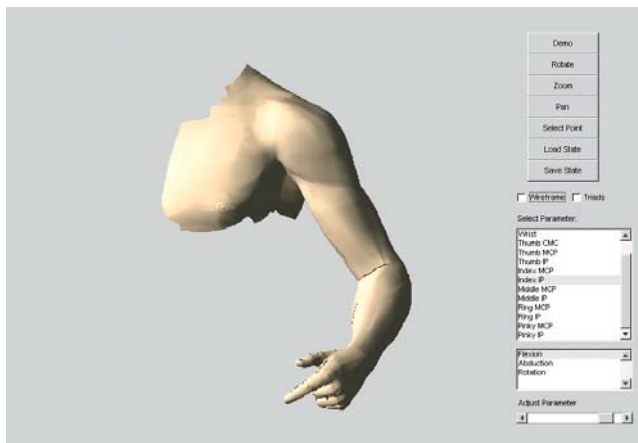
Tento přístup ukázal množství výhod. Pomocí metody Model-Based Design byl vytvořen model celého systému, který mohl být prověřen a optimalizován pomocí podrobných simulací. Také bylo možné velmi rychle vytvořit a otestovat prototyp algoritmu pracující v reálném čase a tím prověřit funkčnost návrhu před tím, než byl nasazen na konečnou hardwarovou platformu.

Program spustitelný na cílovém procesoru byl také vytvořen pomocí nástrojů pro automatické generování kódu. Protože byl výsledný kód kompletně vygenerován z prověřeného Simulinkového modelu, neobsahoval žádné ručně psané celky, které by mohly do jeho funkce zanést neočekávané chyby.

Fyzikální model a vizualizace

Aby bylo možné simulovat chování řídicího systému v uzavřené smyčce, byl vytvořen simulační model umělé končetiny reprezentující její dynamické vlastnosti. Model vycházel z návrhu umělé paže vytvořené v CAD systému SolidWorks. Ze sestavy byl automaticky vygenerován dynamický model pro SimMechanics, což je nadstavba Simulinku urč-

ná pro modelování mechanických soustav ve 3D. Dynamický model končetiny byl v Simulinku propojen s modelem řídicího systému a celek byl podroben simulačním experimentům.



Obr. 2: Uživatelské rozhraní pro konfiguraci parametrů protězy

V konečné fázi byla simulace propojena s 3D vizualizací umožňující sledování pohybu.

Klinická aplikace

Pro klinické účely bylo vytvořeno intuitivní programové prostředí, které umožňuje snadné nastavení a používání systému. Pomocí grafického uživatelského rozhraní vytvořeného v MATLABu mohou lékaři konfigurovat parametry VIE a řídit testování prováděné za pomoci dobrovolníků (obr. 2).

Lékaři pracují s aplikací spuštěnou na host PC, která komunikuje s řídicím systémem spuštěným v reálném čase na platformě xPC Target. Třetí počítač slouží pro 3D vizualizaci ovládané virtuální končetiny. To umožňuje sledovat průběhy řídicích signálů a jejich vzájemné závislosti během pohybu.

Závěr

S využitím metody Model-Based Design byla vytvořena první verze programu VIE. V současné době je ve vývoji detailní návrh modulární protetické končetiny určený pro organizaci DARPA.

Mnoho partnerských institucí používá VIE jako testovací platformu při vylepšování vlastních systémů a autorský tým by toto prostředí rád využil při dalším vývoji v protetice a neurověděch. Díky návrhu metodou Model-Based Design mohou být dosavadní výsledky snadno aplikovány i při dalších projektech, protože jsou postaveny na opakovaně využitelných Simulinkových modelech. Oblast použití tak není omezena pouze na projekt Revolutionizing Prosthetics.

Napodobení přírody na hranici možností

Vyvinout mechatronický systém, který je schopen replikovat přirozené pohyby a připravit jej pro klinické testy během čtyř let, vyžadovalo mohutný krok vpřed v mnoha oborech, jako je neurální řízení, sensorika, pokročilá mechanika a pohony nebo protetika.

Současné umělé paže mívají většinou jen 3 aktivní stupně volnosti – ohyb v lokti, natáčení zápěstí a svírání úchopu.

První prototyp nové končetiny nazvaný Proto1 přidal dalších 5 stupňů volnosti – dva aktivní stupně volnosti v ramenním kloubu (flexe/extenze, vnitřní/vnější rotace), sklápění zápěstí a rozšířené možnosti sevření úchopu.

Pro dosažení přirozených pohybů však bylo nutné zdaleka překonat i tyto hranice. Druhý prototyp (Proto2) již měl 22 stupňů volnosti a sloužil také jako důkaz funkčnosti elektromechanické koncepce. Oproti prvnímu prototypu obsahoval další stupeň volnosti v ramenním kloubu (abdukce/addukce), radiální a ulnární deviace zápěstí a také nezávislé pohyby jednotlivých prstů. Ruka tak může být formována do celé řady koordinovaných úchopů, což značně zvyšuje efektivitu protězy (obr. 3).

Finální verze protězy Modular Prosthetic Limb určená pro projekt DARPA bude mít 27 stupňů volnosti a navíc bude doplněna o schopnost snímání teploty, kontaktu, tlaku a vibrací.



Obr.3 Ukázka variant úchopu prototypu Proto2



HUMUSOFT s. r. o.

Distributor produktů společnosti The MathWorks v ČR a SR
 Pobřežní 20
 186 00 Praha 8
 Česká Republika
 Tel.: +420 2 84 01 17 30
 Fax: +420 2 84 01 17 40
 E-mail: info@humusoft.cz
 http://www.humusoft.cz