

# Využití Evolučních výpočetních technik v elektronických systémech – přehled zajímavých aplikací

Petr Burian

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací, Západočeská univerzita v Plzni

## Utilization of Evolutionary Computational Techniques in Electronic System Domain – Interesting Applications Review

### Abstract

*This paper deals with usage of Evolutionary computational techniques in electronic system domain. It describes interesting real projects based on this group of algorithms.*

### Keywords

Evolvable Hardware, Evolutionary Algorithms, Evolutionary Design.

### Úvod

Skupina algoritmů, označovaná jako Evoluční výpočetní techniky (EVT), poskytuje širokou škálu nástrojů pro řešení optimalizačních úloh. Využití těchto algoritmů v elektronických systémech zaznamenalo renesanci především v posledním desetiletí. Jejich využití je relativně široké a dělí se zejména na dvě odvětví - evoluční návrh obvodů a vyvíjející se obvody. Jejich použití se ale osvědčilo i v jiných oblastech, například při návrhu antén, při ladění parametrů regulátorů atd.

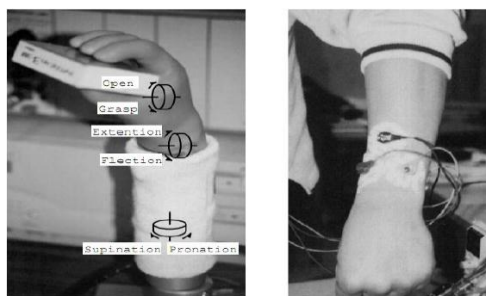
Evoluční návrh obvodů je nejčastěji založen na rekonfiguraci určité struktury. Vhodná konfigurace je hledána právě pomocí EVT. Při tomto způsobu návrhu je daná struktura většinou realizována jen softwarově a evoluce se účastní pouze návrhové části procesu. Výsledek evoluce, tzn. navržený obvod, pak může být reálně implementován. Hlavním hlediskem evolučního návrhu je kvalita. Výsledný obvod by měl být v některém ohledu lepší než výsledek konvenčního návrhu.

O vyvíjejících se obvodech či systémech hovoříme pouze tehdy, pokud je evoluce nutná pro běžnou funkci daného systému. Jedná se nejčastěji o obvody, které mění svoji funkci či parametry dynamicky v čase. Základním kritériem pro vyvíjející se obvody je čas, za který je evoluce schopna poskytnout „akceptovatelné“ řešení. Primárně se tedy neorientujeme na kvalitu řešení, avšak je na úvaze vývojáře, zda se řešení s využitím EVT bude celkově výhodné. [1]

### Adaptivní řízení umělé horní končetiny

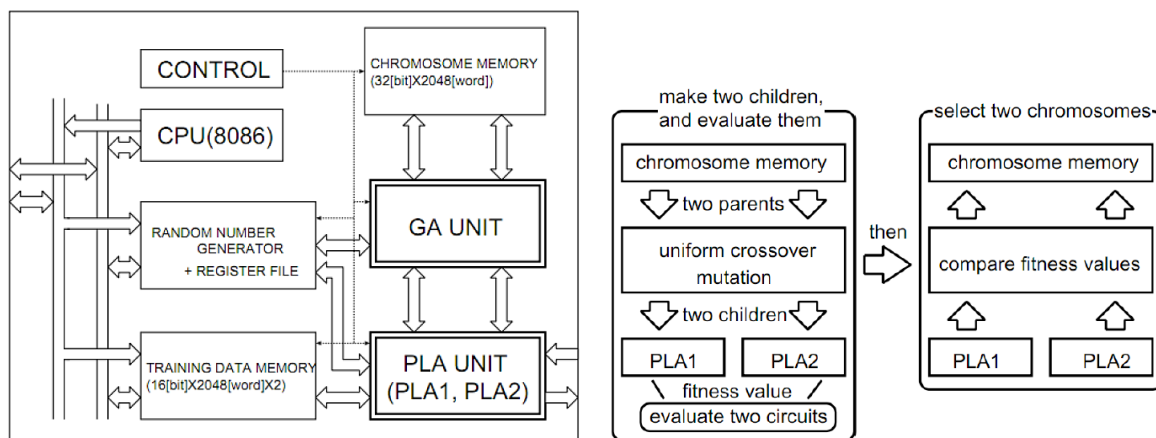
Patrně nejznámější a v publikacích nejčastěji zmiňovaná aplikace se zabývá řešením problematiky návrhu adaptivního řízení umělé horní končetiny. Celý tento projekt je založen na snímání myoelektrických signálů (elektrické signály generované svalovou činností), které jsou následně zpracovány, a pomocí vhodně nastaveného klasifikátoru je rozhodnuto, který pohyb bude umělou paží vykonán. Konvenčně řešené náhrady horní končetiny obsahovaly obvykle fixní kontrolér, tzn., že byl pevně nastaven na hodnoty myoelektrických signálů a přizpůsobit se musel pacient. To trvalo obvykle cca jeden měsíc, kdy se postižená osoba musela naučit, jaké podmínky musí pro požadovaný pohyb vykonat. Adaptivní varianty řízení byly založeny na neuronových sítích a vyžadovaly

relativně složitý hardware, což není z hlediska nároků na minimální hmotnost (ta by měla být podobná jako hmotnost reálné končetiny – cca 700g) a energetickou náročnost ideální.



**Obr. č.1: Umělá horní končetina a umístění snímacích elektrod[2]**

Adaptivní řízení pomocí evolučního algoritmu je založeno na rekonfigurovatelném obvodu PLA, pomocí něhož je dynamicky vytvářen logický kombinační obvod, který zajišťuje klasifikaci dle myoelektrických signálů. Snímání těchto signálů je zajištěno čtyřmi elektrodami (viz obr. č. 1) na zbylých částech paže. Signály jsou předzpracovány a následně kvantizovány. Ve výsledku dává jedna elektroda 4-bitový výstup, pro všechny elektrody tedy získáváme 16-bitovou informaci o stavu svalstva. Tento 16-bitový vektor je vstup logického kombinačního obvodu, který vzejde z evoluce. Navržený kontrolér je schopen rozpoznávat šest základní pohybů umělé končetiny (otevření dlaně, sevření dlaně, ohýbání zápěstí na obě strany, otáčení celou končetinou), obsahuje tedy 6-bitový výstup, kdy každý bit určité rozpoznání daného pohybu. Tato informace je pak předána akčním členům umělé paže. Pro implementaci celého kontroléru je použit speciální čip, který v sobě integruje veškeré moduly (viz obr. č. 2) nutné pro tento typ aplikace.



**Obr. č. 2: Schéma čipu pro EHW a princip činnosti genetického algoritmu[2]**

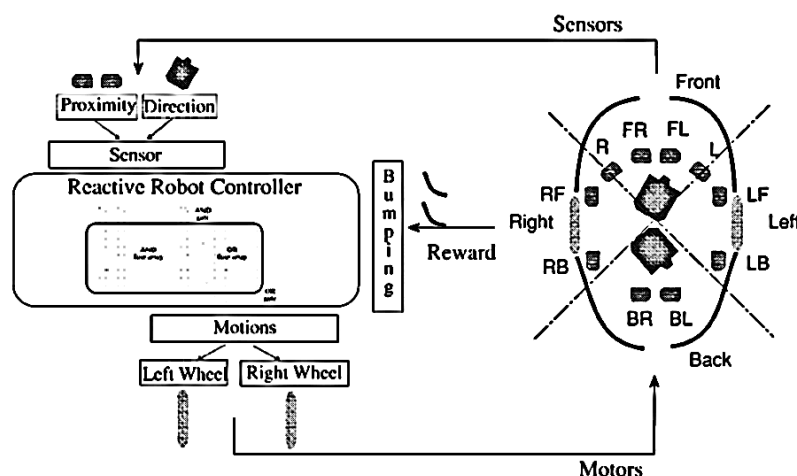
Čip obsahuje 16-bitový procesor (NEC V30), dále obsahuje paměť pro chromozomy, paměť pro trénovací data, generátor náhodných čísel a speciální jednotku pro vykonávání genetického algoritmu, který tedy nemusí být vykonáván softwarově, což přispívá k rychlosti celého evolučního procesu. PLA jednotka obsahuje dva totožné obvody programovatelné logiky, tento obvod je zdvojen z důvodů paralelní evaluace dvou jedinců (chromozomů). Použitý genetický algoritmus využívá binární jedince o délce 2048 bitů, velikost populace je 32, využívány jsou oba rekombinační operátory, jak křížení, tak mutace. Detailně je průběh použité varianty GA znázorněn v pravé části obrázku č. 2.

Funkce zařízení je následující: pacient nejprve provede sběr trénovacích dat, tzn., že označí daný typ pohybu a provádí myšlenkové vzruchy, jakoby chtěl tento pohyb uskutečnit. Poté začne vlastní evoluce kontroléru, po jejím úspěšném dokončení je evoluce

ukončena a používá se pouze výsledný logický obvod jako klasifikátor. Toto řešení prokázalo úspěšnost až 98% v závislosti na typu předzpracování myoelektrických signálů a v závislosti na zkušenosti pacienta. Proces evoluce též zkrátil proces učení mezi pacientem a umělou končetinou na řádově minuty, oproti konvenčnímu řešení, které trvalo desítky dnů. Protože se charakter myoelektrických signálů v čase mění, je nutné po jisté době proces evoluce opakovat a tak zajistit jeho adaptaci.

## Evoluční návrh řídicího kontroléru robota

Velmi zajímavé jsou i experimenty v oblasti řízení robotů. Obvyklá úloha robotů bývá nalézt určitý objekt a přitom se pohybovat korektně v souladu s okolním prostředím. Uvažujme situaci, kdy se robot nachází v prostředí s různými typy překážek, a jeho úkolem je přiblížit se co neblíže definovanému objektu - v našem případě výrazně barevný balónek dobře viditelný ze všech míst. Robot dále nedisponuje žádným modelem prostředí, jeho pohyb a chování je definováno jen jako reakce na údaje z jeho čidel. Cílem je pomocí vhodného evolučního algoritmu navrhnout kontrolér, který by pomocí údajů z čidel správně řídil pohyb robota v „bludišti“, tak aby našel co nejrychleji hledaný objekt. V publikacích [2,3] je popsán mechanismus návrhu takového kontroléru a to opět jako logického kombinačního obvodu, který je získán na základě evoluce. Použitý robot (přibližné schéma na obr. č. 3) byl vybaven několika senzory a akčními členy; konkrétně deseti infračervenými senzory detekující překážku do vzdálenosti 30 cm, kamerou pro nalezení cílového objektu a senzor naražení do překážky, o pohyb robota se starají dva nezávisle řízené motory.



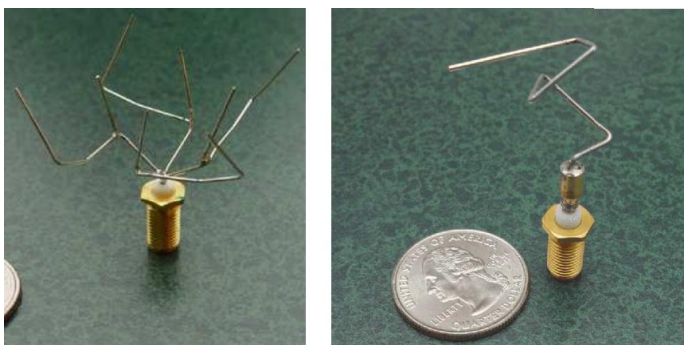
Obr. č. 3: Schéma řídicího systému robota [2]

Zásadní problém evolučním návrhu je vhodná množina trénovacích dat, v tomto experimentu byly tyto data získávány při provozu robota v reálném prostředí. Celý evoluční cyklus návrhu kontroléru můžeme popsat následujícím postupem: evoluční algoritmus vygeneruje kandidátní řešení, to je nahráno do robota, který je pak umístěn do bludiště a po dobu jedné minuty se snaží splnit svůj úkol. Ohodnocení kandidátního řešení (hodnota fitness) pak závisí na úspěšnosti robota se s tímto úkolem vypořádat, do úvahy je bráno několik faktorů: čas za jaký je objekt nalezen, počet střetu s překážkami, celková uražená dráha atd. Z principu získávání ohodnocení jedinců je zřejmé, že se jedná o velmi pracný a pomalý způsob. Je možné nahradit reálné prostředí simulátorem, pak se evoluce samozřejmě markantně urychlí. V popisovaném experimentu byl kontrolér řešen obvodem PLA a výsledný kontrolér využíval 8-bit. vstupní vektor (6 bitů senzory, 2 bity kamera), a na výstupu disponoval 3 bity (8 různých směrů pohybu). Použitý evoluční algoritmus měl populaci o 20 jedincích. K relativně úspěšnému nalezení výsledků bylo potřeba 20 - 30 generací, což představuje cca 400 - 600 ohodnocení jedinců.

## Evoluční návrh antény pro mikrosatelit

Velmi odlišnou aplikaci EVT představuje evoluční návrh antény pro mikrosatelit ST5. Níže popsany evoluční návrh antény byl převratný především proto, že se stal prvním inženýrským projektem s využitím evoluce, který byl reálně nasazen v kosmu. [3]

Anténa mikrosatelitu je součástí mise Space Technology 5, jejímž posláním bylo otestovat nové technologie ve vesmíru. Při návrhu satelitu byly definovány základní parametry, jako například zisk antény v daných úhlech, činitel stojatých vln, vstupní impedance ( $50\ \Omega$ ), hmotnost (max. 165 g) atd. Dále bylo dle zkušeností rozhodnuto, že se bude jednat o jednopólovou drátovou anténu se čtyřmi větvemi otočenými vzájemně o  $90^\circ$ . Tvar a vzhled antény byl plně ponechán na evolučním algoritmu. Reprezentace chromozomu fyzického tvaru antény byla zakódována nepřímo, pomocí vývinu. Tento moderní prvek přibližuje využití EVT více k biologické podstatě. Konkrétně je použit syntaktický strom, který definuje jednotlivé operace při vývinu jedince. Princip je založen na posuvu „konstrukční hlavy“, která vytváří anténu. Tato hlava může vykonávat následující operace: generování nového vodiče o určité délce a v určitém úhlu, posun na konec vytvořeného vodiče, rotace hlavy v osách  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Při evoluci byl použit evoluční algoritmus o velikosti populace 200 jedinců, s velmi silným elitismem. K rekombinaci jedinců bylo použito jednobodové křížení nebo mutace (velmi velká pravděpodobnost mutace). Výsledná anténa (obr č. 4 vlevo) vykazovala lepší chování oproti konečně navržené anténě ve všech zásadních parametrech. Především vykazovala zisk 2 - 4 dB přes velký elevační úhel. Anténu bylo možno připojit bez přizpůsobovacího členu. Přesto tato anténa nebyla použita. Během projektu byly změněny požadavky na vlastnosti antény, avšak po spuštění evoluce s novými požadavky byla za měsíc získána nová anténa, která byla nakonec reálně použita (obr č. 4 vpravo). [3]



Obr. č. 4: Anténa pro satelit ST5, vlevo první verze, vpravo konečná verze [3]

## Poděkování

Tento článek vznikl za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, SGS-2010-037 a SGS-2010-018.

## Literatura

- [1] Burian, Petr. Návrh číslicových obvodů za pomoci evolučních výpočetních technik. *Automatizace*, 2009, roč. 2009, č. 3, s. 178-180. ISSN: 0005-125X.
- [2] Higuchi, T a kolektiv. Real-world applications of analog and digital evolvable hardware. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, vol.3, no.3, s.220-235, 1999.
- [3] Sekanina, L. a kolektiv. Evoluční hardware: Od automatického generování patentovatelných invencí k sebemodifikujícím se strojům. Academia: Praha 2009.