České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra kybernetiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: Tomáš Jungman

Studijní program: Softwarové technologie a management

Obor: Inteligentní systémy

Název tématu: Obchodování na devizovém trhu s využitím genetického programování

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s genetickým programováním (GP) a se specifiky obchodování na devizovém trhu.
2. Vytvořte softwarové prostředí, v němž se prostřednictvím GP vyvine tzv. Expert Advisor (EA) pro obchodování na devizovém trhu.
3. Na známých historických datech o vývoji směnných kurzů metodu otestujte a porovnejte s konvenčními metodami pro tvorbu EA. Jako hlavní míru úspěšnosti použijte zisk plynoucí z obchodování.

Seznam odborné literatury: Dodá vedoucí práce.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Pošík, Ph.D.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2011/2012

L.S.

prof. Ing. Vladimír Mařík, DrSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Boris Šimák, CSc.
děkan

V Praze dne 2. 2. 2011

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra kybernetiky

Bakalářská práce

Obchodování na devizovém trhu s využitím genetického programování

Tomáš Jungman

Vedoucí práce: Ing. Petr Pošík, Ph.D.

Studijní program: Softwarové technologie a management, Bakalářský

Obor: Umělá inteligence

3. ledna 2012

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Petru Pošíkovi, Ph.D. za velkou trpělivost a ochotnou pomoc při tvorbě práce. Chci také poděkovat rodině a přátelům, kteří při mě vždy stáli a podporovali mě během celého studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v přiloženém seznamu. Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 3. ledna 2012 .....

Abstract

The goal of this work is to explore the possibility of use of the genetic programming to solve foreign exchange (FOREX) rate prediction problem. Expert advisor for automated trading is built on top of the prediction algorithm. Behavior and performance of advisor are analyzed and compared to other experts advisors, created by means of conventional methods.

Abstrakt

Cílem této práce je ověřit možnosti použití genetických algoritmů na problém predikce vývoje cen na devizových trzích. Na základě predikčního algoritmu je sestaven expertní poradce (expert advisor), pro automatizované obchodování. Chování a výkonnost poradce jsou analyzovány a srovnány s jinými expertními poradci, vytvořenými běžnými metodami.

OBSAH

Seznam obrázků xii
Úvod 1
1. Představení problému 3
1.1 Historie mezinárodního obchodu 3
1.2 Obchodování na devizovém trhu 4
1.3 Chování trhu 5
2. Stávající přístupy k problematice predikce 7
2.1 Ukazatelé na bázi plovoucího průměru 7
2.2 Ukazatelé typu momentum 8
2.3 CCI Ukazatelé 9
2.4 Regresní ukazatelé 9
3. Rozbor řešení 10
3.1 Volba algoritmu 10
3.2 Použití výzkumného systému ECJ 11
3.3 Integrace řešení s obchodní platformou MT4 13
3.4 Ostatní použité softwarové nástroje 14
4. Genetická část EA 15
4.1 Rozšíření systému ECJ 15
4.2 Popis použitých algoritmů 16
4.2.1 Reprezentace řešení 16
4.2.2 Ohodnocení fitness 19
4.2.3 Křížení a mutace 21
4.3 Vlastnosti evoluce 22
5. Integrace s obchodní platformou MT4 25
5.1 Propojení pomocí DLL knihovny 25
5.1.1 Návrh knihovny 25
5.1.2 Podrobný popis funkce DLL 26
5.2 Expertní poradce (EA) 28
5.2.1 Export a import dat z ECJ 28
5.2.2 Využití predikce pro obchodování 29

5.2.3 Ukázka použití EA 30
6. Testování EA 33
6.1 Testovací prostředí 33
6.2 Přesnost predikce 34
6.3 Analýza výkonu 35
6.4 Srovnání výsledků s jinými EA 37
6.5 Shrnutí a hodnocení 41
7. Možnosti budoucího vývoje 43
7.1 Výpočetní výkon a paralelizace 43
7.2 Proložení predikcí z různých časových úseků 43
7.3 Vylepšení obchodní části EA 44
Seznam literatury 47
Příloha A: Seznam použitých zkratek 49
Příloha B: Obsah přiloženého CD 51

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1: Ukazatel plovoucího průměru 7
Obr. č. 2: Ukazatel momentum 8
Obr. č. 3: Automaticky zakreslený CCI ukazatel 9
Obr. č. 4: Regresní FFT ukazatelé 10
Obr. č. 5: Schéma integrace řešení s platformou Metatrader 4 13
Obr. č. 6: Schéma datové komunikace upravené verze ECJ 15
Obr. č. 7: Ukázka struktury genetického programu 17
Obr. č. 8: Směr ohodnocení fitness 20
Obr. č. 9: Graf časové náročnosti algoritmu 23
Obr. č. 10: Graf konvergence algoritmu 24
Obr. č. 11: Podrobné schéma práce DLL knihovny 27
Obr. č. 12: Prediktivní data vložená do obchodní obrazovky 29
Obr. č. 13: Využití predikce pro umístětní obchodních pokynů 30
Obr. č. 14: Použití EA v prostředí obchodní platformy 31
Obr. č. 15: Testovací rozhraní MT4 33
Obr. č. 16: Srovnání predikce dvou různých běhů algoritmu 35
Obr. č. 17: Graf vývoje bilance EA během testu 36
Obr. č. 18: Srovnání profitability EA 38
Obr. č. 19: Srovnání faktoru ziskovosti 39
Obr. č. 20: Srovnání míry relativního poklesu 40

ÚVOD

Mezinárodní devizový trh (angl. foreign exchange, FOREX) má již relativně dlouhou tradici. Jeho základy byly položeny v sedmdesátých letech 20. století. V současné době je nejobchodovanějším trhem vůbec, s denním obratem 1.6 bilionu (milion milionů, 10^{12}) [1] amerických dolarů.

V současné době je tento trh realizován jako decentralizovaný elektronický komunikační systém, jenž zajišťuje spojení a vykonání transakcí mezi obchodníky, ať už se jedná o centrální banky, velké firmy, burzovní makléři či jednotlivé spekulanty. Úkolem tohoto složitého systému je zajistit směnitelnost mezinárodních měn.

Poslání obchodníků na trhu se mohou lišit, například typický centrální bankéř chce ochránit ekonomiku své země a neváhá proto svou domácí měnu cíleně oslabit i přes značné finanční náklady, naopak typický spekulant chce za každou cenu vydělat bez dalších ohledů. Ať už je cíl devizového obchodníka jakýkoli, vždy je hlavní náplní jeho práce zpětná analýza cenových pohybů za minulá období, na jejichž základě se snaží odhadnout chování a budoucí vývoj směnného kurzu pro období nadcházející.

Stejný úkol jako obchodníci mají v tomto ohledu i počítačové programy zvané „expertní poradci“ (angl. expert advisor, EA). Jsou to speciální podprogramy obvykle spouštěné z profesionálních obchodních platforem. Jejich úkoly se nijak neliší od úkolů spekulujícího devizového obchodníka, nezávisle analyzují známá obchodní data a na základě svých zjištění potom sami provádějí na trhu obchodní transakce se svěřeným

kapitálem. Hlavními měřítkem jejich úspěchu jsou přitom dosažený zisk a míra rizika, jemuž byl jim svěřený kapitál vystaven.

Výstupem této práce je právě takový expertní poradce, jenž bude za pomoci genetických algoritmů provádět analýzu dostupných dat z devizového trhu a na základě své předpovědi umísťovat obchody. EA je vyvíjen a testován na platformě MetaTrader 4, jež je široce používána retailovými FOREX brokery. Jeho prediktivní analytická část je potom vytvořena v upraveném evolučním výzkumném systému ECJ.

1. PŘEDSTAVENÍ PROBLÉMU

1.1 HISTORIE MEZINÁRODNÍHO OBCHODU

Mezinárodní obchodování má dlouhou tradici, již od počátku věků lidé mezi sebou směňovali suroviny a výrobky. S rostoucím množstvím směnných obchodů narůstala i poptávka po universálnějším vyjádření hodnoty. Lidé potřebovali vyjádřit hodnotu něčím, co by bylo snadno směnitelné, lehce přenosné a také dělitelné.

Za první podobu peněz se dají považovat běžná hospodářská zvířata jako krávy nebo ovce[1], jež byly snadno směnitelné, ovšem už hůře dělitelné a přenosné. Přibližně v roce 1000 př. n. l. se objevily první kovové mince, splňující všechny základní požadavky na universální platidlo.
V těchto raných dobách byla jejich hodnota dána především jejich směnitelností za zlato, jež bylo vysoce ceněno pro svou vzácnost. Tento systém, ve kterém je platidlo kryto zlatem, přečkal i nástup papírových peněz, a v roce 1880 byl oficiálně zaveden jako tzv. „Zlatý standart“.

Po první světové válce, ve 20. letech 20. století započal mezinárodní devizový obchod v současné podobě. Mezinárodní měny byli směnitelné za zlato a stříbro, a také mezi sebou. Hlavními obchodními měnami byli v té době britská libra a americký dolar.

Ve 30. letech 20. století došlo po světové hospodářské krizi k opuštění zlaté standartu a během druhé světové války přestal mezinárodní devizový trh de facto existovat úplně. Po válce byla uzavřena tzv. Brettonwoodská dohoda, při které byl ustanoven mezinárodní měnový fond (MMF). Byl

stanoven pevný směnný kurz amerického dolaru (USD) vůči zlatu (35$ za trojskou unci), hodnota ostatních měn potom byla stanovena vzhledem k USD. Dolar tak získal statut mezinárodní rezervní měny, a jeho emise byla plně kryta americkými zlatými rezervami.

Pěvně stanový kurz však postupně vedl k odčerpání značné části amerického zlata, až v roce 1971 americký president R. Nixon odmítl dále plnit závazky Brettonwoodské dohody, čímž došlo k jejímu úplnému zániku. Během krátké doby trh vyrovnal podhodnocený kurz zlata, jež zněkolikanásobilo svou cenu.

MMF reagoval s předstihem a již v roce 1968 zavedl opatření nahrazující americký dolar na pozici světové rezervní měny, zavedení nové abstraktní měny složené ze směnných kurzů hlavní pětice světových měn. Měnovým trhům tak byla ponechána nezávislost na jakémkoli podkladovém aktivu. Vzájemný směnný kurz mezi měnami je od té doby až po současnost stanovován jen na základě nabídky a poptávky účastníků trhu.

1.2 OBCHODOVÁNÍ NA DEVIZOVÉM TRHU

Devizový trh je místem, kde se setkává nabídka s poptávkou. Obchodování probíhá v mnoha měnových párech. V současné době je nejobchodovanějším párem EURUSD, s přibližně 30% podílem na celkovém obratu[1]. Obchodníci nabízejí a poptávají obě měny v měnovém páru, přičemž lze na trhu provést různé druhy transakcí. V této práci bude kladen zřetel pouze na ty nejběžnější z nich a to pokyny „nakup“ a „prodej“ (angl. „buy“ a „sell“). Pokud se rozhodneme provést nákup (buy) na měnovém páru EURUSD, systém nakoupí za vyčleněné prostředky euro. Naopak

v případě prodeje (sell) systém nakoupí dolar. Provedením některé z těchto dvou transakcí je označováno také jako otevření pozice, neboť z původní investiční měny obchodníka jsou prostředky vloženy do obchodované měny. Tyto prostředky jsou po uzavření transakce systémem převedeny zpět do investiční měny. Investiční měnou bývá nejčastěji americký dolar a stejně tomu bude i dále v této práci.

Jednotkou objemu bývá obvykle 1 lot, což je 100 000 jednotek měny. Aby byl obchod umožněn subjektům s menším kapitálem, nabízí většina FOREX brokerů obchodování s tzv. finančním pákovým efektem (leverage). Jedná se v podstatě o formu zapůjčení peněz, která umožňuje obchodovat s řádově vyšším kapitálem, než má obchodník reálně k dispozici. Tato metoda s sebou nese výrazné zvýšení efektů pohybů devizových kurzů na bilanci uzavřené transakce, čímž pomáhá dosáhnout vyšších zisků či vyšších ztrát. Oproti klasickému obchodování má pákový efekt navíc další nevýhodu, že pokud poklesne ztráta z obchodu blízkou k hodnotě reálně investované kapitálu, broker obchod nuceně uzavře, aby předešel negativní bilanci obchodníkova účtu. Hrozí tak absolutní ztráta všech investovaných prostředků.

I přes možná rizika obchodu s finančním pákovým efektem je v této práci použito leverage 1:500, neboť jej nabízí velké množství internetových brokerů a je tak blíže současné praxi, nežli obchodování bez leverage.

1.3 CHOVÁNÍ TRHU

V ideálním případě by každá transakce na mezinárodním devizovém trhu měla znamenat drobnou změnu ve směnném kurzu. Protože je objem

obchodů velký, dochází u směnných kurzů k pravidelným pohybům. Na měnovém páru EURUSD jde o pohyby v rozmezí několika desetin procentního bodu i několikrát za vteřinu. Předpověď velikosti, směru a času těchto pohybů je netriviálním úkolem a také hlavním zaměřením této práce.

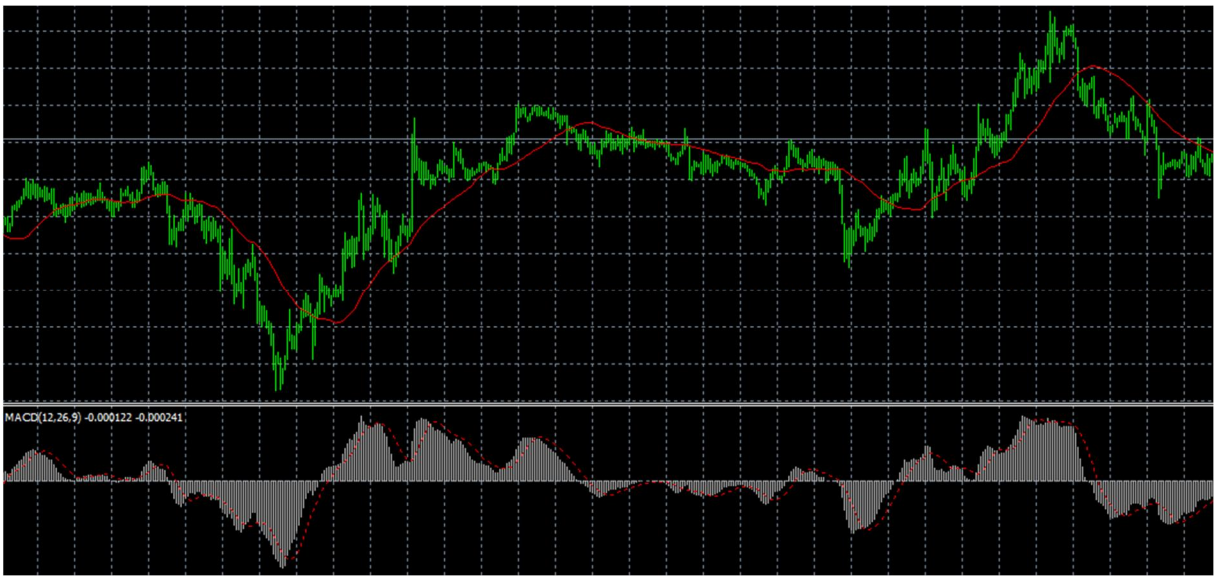
Přístupy k předpovědi vývoje kurzů se liší podle informací, jež jsou použity pro analýzu. Technická analýza používá jen historická data směnných kurzů a obchodovaných objemů, kdežto behaviorální analýza zkoumá důsledky převážně ekonomických a politických událostí v reálném světě na vývoj cen na trhu. Existují i přístupy kombinované či naopak teorie o naprosté nepředpověditelnosti trhu [2]. Způsob předpovědi popisovaný v této práci spadá do kategorie technické analýzy, neboť jako jeho vstup slouží pouze historická data vývoje kurzu.

Existuje také teorie Elliottových vln (angl. Elliott Wave Principle) [3], popisující vývoj na trhu jako křivku složenou z vln o různé frekvenci a amplitudě. Ačkoli tato teorie nejde bezprostředně využít pro reálné obchodování, byla hlavní inspirací k vytvoření této práce, jejíž hlavním předpokladem je pohyb trhu ve vlnách.

2. STÁVAJÍCÍ PŘÍSTUPY K PROBLEMATICE PREDIKCE

2.1 UKAZATELÉ NA BÁZI PLOVOUCÍHO PRŮMĚRU

Průměrování je jedním z nejstarších obchodních ukazatelů vůbec. Jedná se o metodu průměrování vývoje cen v plovoucích oknech. Délky okna a způsoby výpočtu průměru se mohou lišit. Často jsou používány aritmetický průměr, vážený průměr, exponenciální průměr a různé formy vyhlazování výsledné křivky.



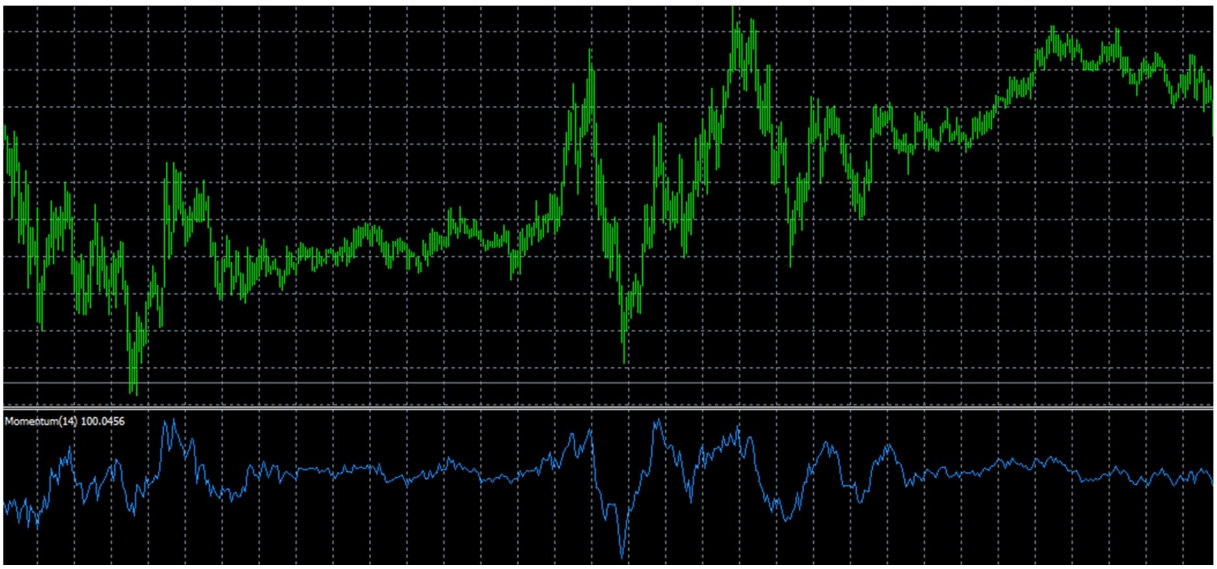
Obr. č. 1: Ukazatel plovoucího průměru

Ačkoli tyto ukazatelé nemají sami o sobě žádnou dopřednou prediktivní schopnost, byl na jejich základě sestaven ukazatel MACD (angl. moving average konvergence/divergence). Funguje na základě rozdílů mezi

dvěma plovoucími průměry s rozdílnými délkami plovoucího okna. Přestože ani tato složená varianta ukazatele nemá předpovědní schopnost, poskytuje cenné informace o rytmu pohybů na trhu, jež mohou být podkladem pro dopřednou predikci obchodníka.

2.2 UKAZATELÉ TYPU MOMENTUM

Momentum je jednoduchý ukazatel, kalkulující aktuální zrychlení trhu vůči minulým hodnotám. Stejně jako pohyblivý průměr používá časové okno, ve kterém určuje diferenci počáteční vůči koncové ceně.



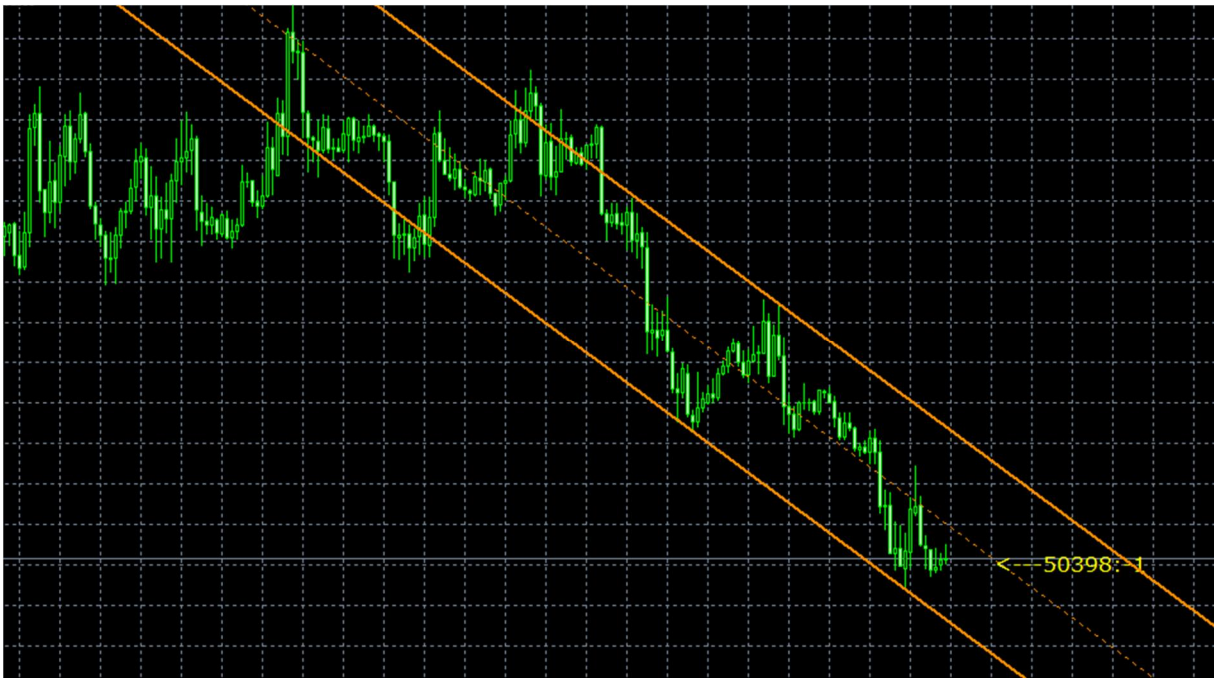
Obr. č. 2: Ukazatel momentum

Tento ukazatel, stejně jako ukazatele na bázi plovoucích průměrů, nemá výstup v podobě dopředné predikce cen. Je používán pro krátkodobé předpovědi na základě zjištěného aktuálního zrychlení trhu.

2.3 CCI UKAZATELÉ

CCI (commodity channel index) je kanál cenových hladin vypočítaný na základě plovoucího průměru cen, typické ceny a průměrné odchylky. Řada obchodníků také zakresluje kanál ručně ve svém obchod. software [4].

Tento indikátor poskytuje předpověď budoucího vývoje, byť jen orientační. Trh ovšem nevydrží sledovat trend, který je ukazatelem vytyčen po příliš dlouhou dobu a téměř vždy dojde k jeho tzv. „proražení“.

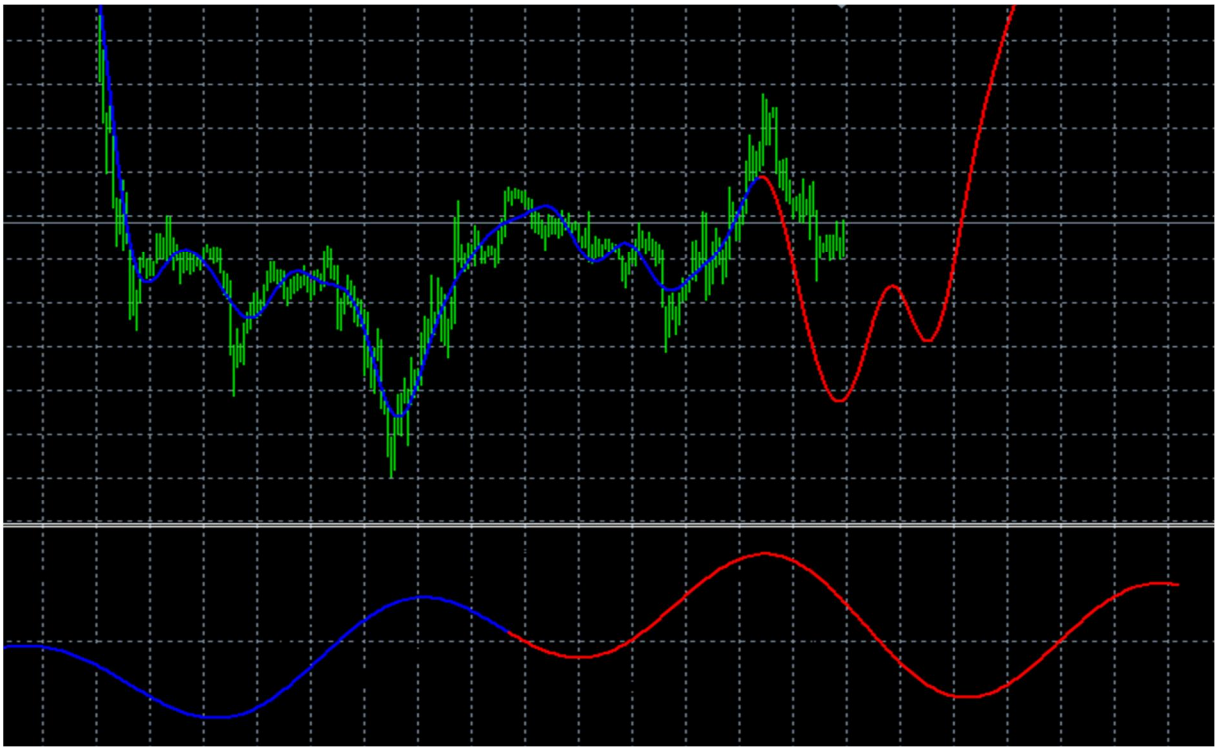


Obr. č. 3: Automaticky zakreslený CCI ukazatel

2.4 REGRESNÍ UKAZATELÉ

Tato kategorie indikátorů má za úkol proložit známá obchodní data matematickou funkcí. Jedná se o netriviální problém, neboť forma funkce

není předem známa a regresní algoritmus ji musí určit spolu s hodnotou parametrů. K tomuto účelu slouží celá řada algoritmů z oblasti zpracování signálů, nejčastěji Fourierova transformace a autokorelační funkce.



Obr. č. 4: Regresní FFT ukazatelé

Ukazatele tohoto typu poskytují konkrétní dopřednou predikci, avšak spolehlivost jejich předpovědí není typicky dostatečná pro reálné obchodování.

3. ROZBOR ŘEŠENÍ

3.1 VOLBA ALGORITMU

Původní návrh počítal s využitím genetického programování pro sestavení kompletního programu expertního poradce (EA), tj. jeho prediktivní i obchodní části. Jedinci jsou popsáni stromovou strukturou, typickou pro GP. Jako uzly byly uvažovány obvyklé matematické a logické operátory, trénovací historická data a speciální terminály pro zadávání obchodních příkazů. Měřítkem úspěchu kandidátských řešení byl zjištěný zisk z provedených transakcí na množině dostupných obchodních dat. Nejlepší evolučně nalezené řešení potom mělo být testováno na podstatně větším testovacím datasetu a případně označeno jako výsledný EA.

Rané pokusy však nepřinášely žádná úspěšná řešení, což bylo v rozporu s očekáváním. Úsilí bylo proto přesunuto směrem k prediktivní části EA, vypuštěním obchodovacích a logických terminálů. Tím byl problém de facto omezen na hledání symbolické regrese vstupních dat [5].

Symbolická regrese je postup, při kterém se pro dostupná data hledá taková složená matematická funkce, jejíž chování těmto datům co nejlépe odpovídá. Pro nalezení takové regrese přitom lze využít všechny principy genetického programování. Na rozdíl od původního návrhu však automaticky nalezená řešení postrádají zamýšlenou universální platnost pro všechna vstupní data. Jeden běh genetické algoritmu zajistí predikci pouze omezeného počtu budoucích cenových hodnot. Tím vzrostly nejen nároky na výpočetní výkon, ale vyvstala také potřeba propojení mezi testovacím obchodním rozhraním a genetickým algoritmem v reálném čase.

3.2 POUŽITÍ VÝZKUMNÉHO SYSTÉMU ECJ

ECJ [6] je výzkumný genetický systém vytvořený na půdě university George Masona poblíž amerického Washingtonu. Jedná se o uznávaný softwarový nástroj v jazyce JAVA, který díky svým volně dostupným zdrojovým kódům a podrobné dokumentaci nabízí dostatečnou rozšiřitelnost i pro méně běžné problémy.

Základní výzvou při použití ECJ v této práci bylo mimo jiné zajistit dostupnost reálných obchodních dat pro použití genetickým algoritmem. Dalšími problémy byly vhodná konfigurace algoritmu, vytvoření vhodných terminálů a způsobu ohodnocení jedinců.

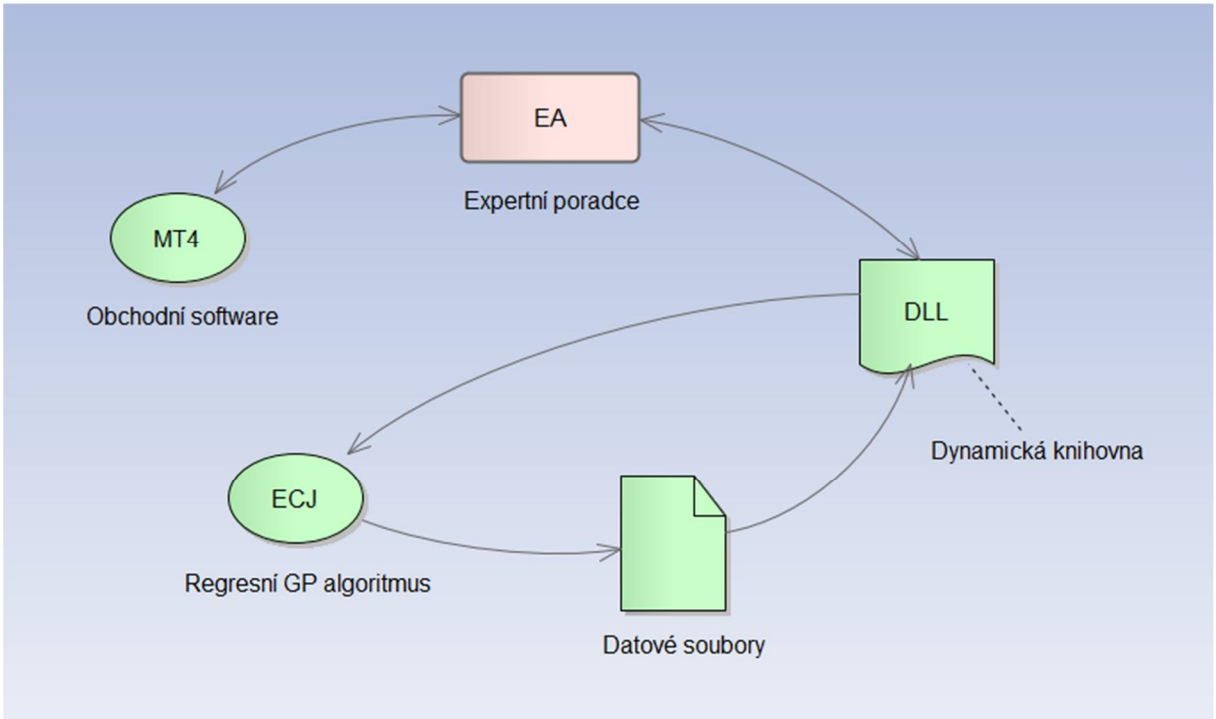
Implementace vychází z dostupných příkladů na webu ECJ [7], a je realizována jako běžná genetická aplikace toho systému. Import obchodních dat je realizován jako proprietární rozšíření této platformy o části zajišťující načítání dat z externích souborů, jejich uložení a volný přístup z terminálů vytvořené ECJ aplikace.

Typický případ použití vytvořené ECJ aplikace je její vyvolání přes BAT spouštěcí soubor spolu s několika parametry a cestou k vstupnímu datovému souboru.

3.3 INTEGRACE ŘEŠENÍ S OBCHODNÍ PLATFORMOU MT4

Obchodní software MetaTrader 4 ruské firmy MetaQuotes Software[8], se od doby svého vydání v roce 2005 stal nejdostupnější a nejrozšířenější platformou pro detailové obchodování na FOREX trhu.

Zprostředkovává nejen přístup k obchodním datům a manuální zadávání obchodních pokynů, ale také umožňuje vytváření indikátorů a expertní poradců pomocí vlastního programovacího jazyka MQL (MetaQuotes language). Možnosti tohoto jazyka nedovolují přímé volání jiného programu, ani ukládání dat do souboru. Je však umožněno importovat funkce a proměnné z externí knihovny DDL.



Obr. č. 5: Schéma integrace řešení s platformou Metatrader 4

Obchodní část EA popisovaného v této práci bude programem v jazyce MQL, který bude jednoduchým způsobem využívat předpovědi

vývoje trhu zjištěné ECJ aplikací k umístění transakcí. Pro zajištění propojení mezi obchodní a genetickou prediktivní částí EA je zapotřebí vytvoření DLL knihovny v jazyce C, jejímž úkolem bude spuštění regresní aplikace v systému ECJ, předání historických dat a načtení zjištěných prediktivních hodnot. Datová komunikace bude pro větší sledovatelnost při vývoji řešena ukládáním a zpětným načítáním dat z textových souborů.

3.4 OSTATNÍ POUŽITÉ SOFTWAROVÉ NÁSTROJE

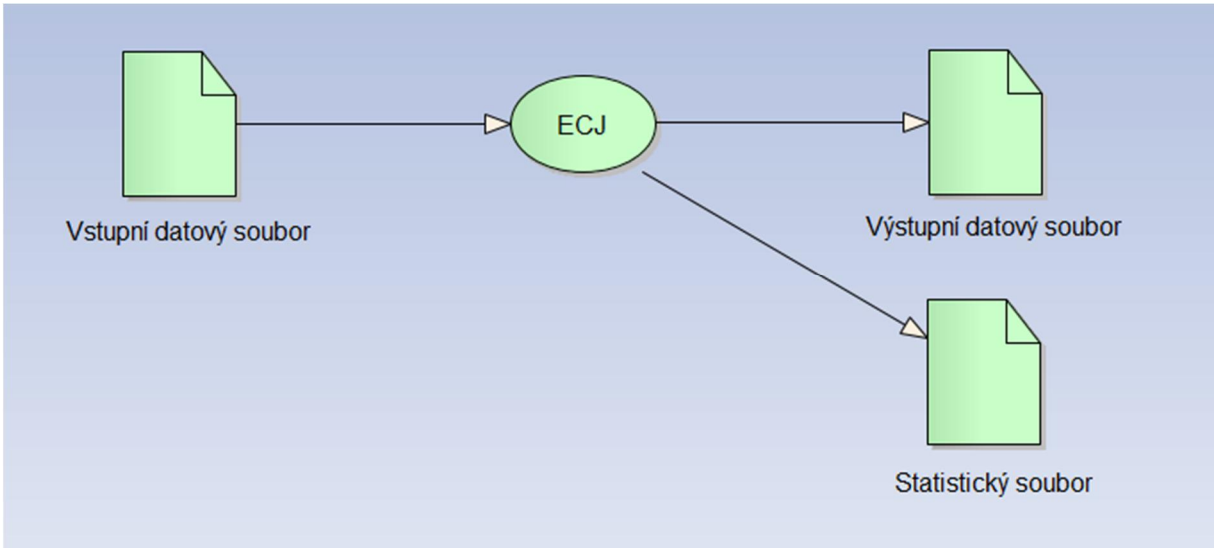
Pro vytváření a úpravu zdrojových kódu v systému ECJ bylo použito IDE Netbeans 7.0, jedná se o běžně používaný editační nástroj pro jazyk JAVA. Obchodní část EA byla vytvořena v MetaEditoru, což je editor jazyka MQL plně integrovaný s platformou MT4. Pro vytvoření propojovací knihovny posloužilo IDE Microsoft Visual Studio 2010 Express [8].

Během vytváření této, práce vznikli také dva převážně vizualizační nástroje. Byly zapotřebí ve fázi, kdy ještě nebylo dokončeno visuální zobrazování regresních dat přímo v prostředí MT4, jež je dostupné v konečné verzi EA. Nástroje byly vytvořeny v jazyce AS3 ve zkušební verzi IDE Adobe Flash CS5, jako program pro interpret Adobe AIR [9], umožňující jejich spuštění ve formě běžných desktopových aplikací.

4. GENETICKÁ ČÁST EA

4.1 ROZŠÍŘENÍ SYSTÉMU ECJ

Systém ECJ je již distribuován společně s kompletními příklady řešící problémy nelineární regrese. Nedisponuje ovšem možností načtení externích dat z datových souborů. Tato funkcionalita je nutná pro správné fungování vyvíjeného EA, neboť je pro každou sadu obchodních dat očekávána jiná predikce. Statická metoda zabudování trénovacích dat přímo do kódu algoritmu proto nepřichází v úvahu.



Obr. č. 6: Schéma datové komunikace upravené verze ECJ

Pro zajištění přístupu genetické algoritmu k aktuálním obchodním datům byla zvolena jednoduchá forma mezi-ukládání do datových souborů.

Tato byla vybrána zejména díky možnosti snadného monitorování a také objektivně jednodušší implementaci (oproti přímým formám komunikace mezi procesy operačního systému).

Rozšíření systému ECJ je implementováno jako samostatný balíček (package) sestávající se ze tří JAVA tříd. První ze tříd se stará o správnou interpretaci spouštěcích parametrů, druhá o fyzické načítá a ukládání dat do souborů a třetí o uložení a přístup k datům.

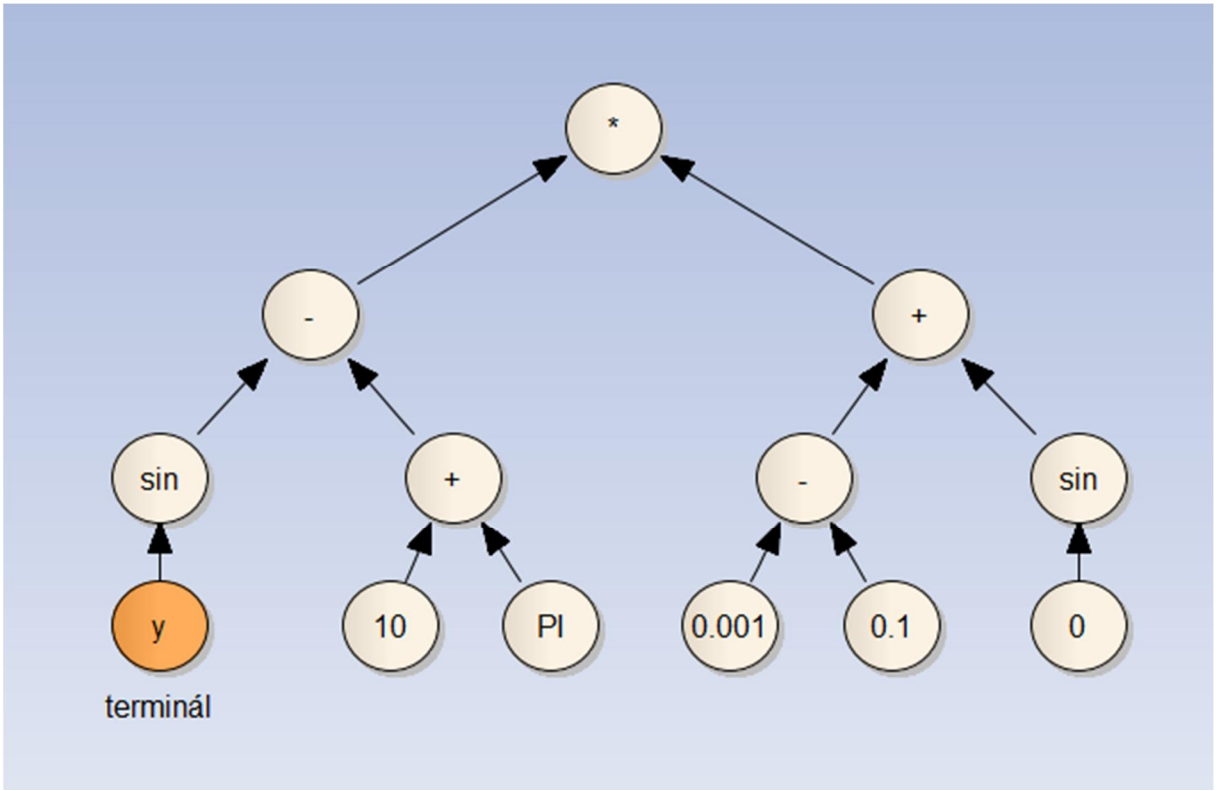
Rozšíření není aktivní vždy, je jej nutné aktivovat během spouštění ECJ speciálním parametrem („-extc“). Zdrojové kódy JAVA lze nalézt, název v balíčku „cext“, jež se nalézá na úrovni balíčku „ec“, což je kořenový balíček systému ECJ.

4.2 POPIS POUŽITÝCH ALGORITMŮ

Algoritmem pro nalezení hledané regrese obchodních dat je genetické programování, jak jej popsal John R. Koza [10]. Jedná se o typ algoritmu inspirovaný biologickou evolucí. Využívá v přírodě běžné mechanismy, jako např. křížení nebo mutace pro vytváření nových jedinců. Mezi těmito jsou následně mechanismy podobnými přirozenému výběru upřednostněni ti s vyšší vhodností pro specifikovaný problém. Počáteční inicializace je provedena hybridním algoritmem ECJ („HalfBuilder“ [10]).

4.2.1 REPREZENTACE ŘEŠENÍ

Každé řešení vyvinuté prostředky GP odpovídá programu, resp. matematické funkci s jedním vstupním parametrem. Tento program může být složen z konstant, matematických funkcí a terminálového uzlu, jež reprezentuje aktuální vstupní hodnotu programu. Prvky, ze kterých je program složený, jsou uspořádány do stromové struktury, která je typická pro GP.



Obr. č. 7:Ukázka struktury genetického programu

Uzly v programu mohou mít žádný, jeden nebo dva potomky. Každý uzel však má právě jedno výstupní ohodnocení. U konstant toto odpovídá jejich absolutní hodnotě. U funkcí a operátorů potom odpovídá hodnotě funkčních ohodnocení a výsledků provedených operací, přičemž jako operandy jsou vždy použity potomci daného uzlu.

O syntaktickou správnost vyvinutých programů se starají vnitřní mechanismy ECJ na základě pravidel definovaných v souboru nastavení ECJ aplikace (soubor „forex.params“ v kořenovém balíčku ECJ aplikace „ec.a2app.forex_basic_reg“). Ta zajišťují, aby měl každý uzel vždy potřebný počet potomků.

V následující tabulce bude uveden přehled všech použitých uzlů. Java třídy lze nalézt v kořenovém balíčku ECJ aplikace.

Název uzlu	Třída	Typ	Počet potomků
pozice	Y.java	terminál	0
π	PI.java	konstanta	0
součet	Add.java	operátor	2
rozdíl	Sub.java	operátor	2
násobení	Mul.java	operátor	2
sinus	Sin.java	funkce	1
cos	Cos.java	funkce	1
jedna	One.java	konstanta	0
deset	Ten.java	konstanta	0
setina	OneHundreth.java	konstanta	0

Tabulka č. 1: Seznam použitých genetických uzlů

Název uzlu	Třída	Typ	Počet potomků
tisícina	OneThousandth.java	konstanta	0
nula	Zero.java	konstanta	0
umocnění na druhou	Pow2.java	funkce	1
logaritmus	Log.java	funkce	1
průměr vstup. dat	Average.java	konstanta	0

náhodná konstanta ERC	MyERC.java	konstanta	0

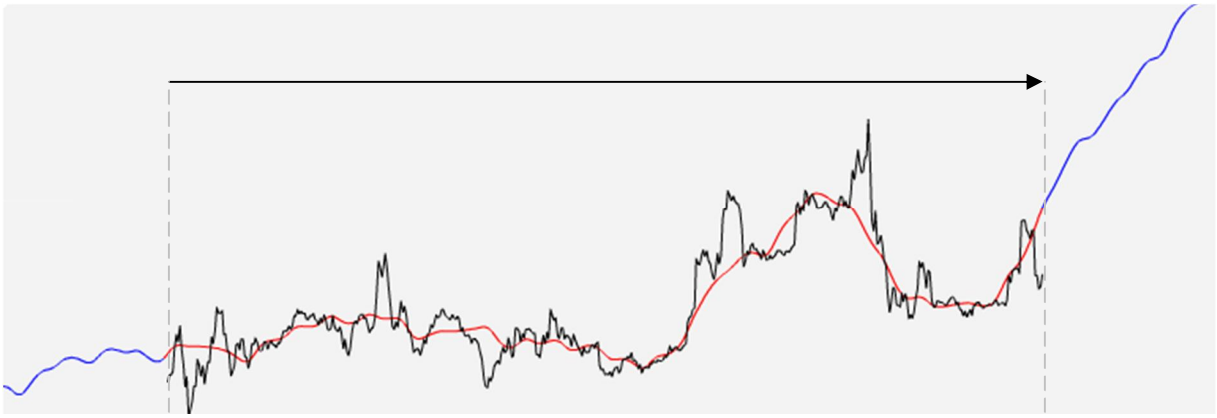
Tabulka č. 1: Seznam použitých genetických uzlů

Nejdůležitějším je uzel označený jako „pozice“. Jedná se o terminál, jehož hodnota se mění během ohodnocení fitness. Rozsah je omezen počtem dostupných trénovacích dat a začíná od 0.

Dalšími méně obvyklými uzly jsou „průměr“ a „náhodná konstanta ERC“. Průměr je konstanta s hodnotou odpovídající aritmetickému průměru všech trénovacích dat. Byla zavedena z důvodu urychlení běhu algoritmu, neboť bylo vypozorováno, že během úvodních 20 generací byla vždy vyvinuta řešení, jejichž výstup odpovídal této konstantě. ERC („Ephemeral random constant“) je náhodná konstanta, jejíž hodnota je náhodně stanovena v pevně ohraničeném rozmezí v okamžiku jejího prvního vložení do stromu programu. ERC byly použity také z důvodu urychlení algoritmu, neboť se během GP evoluce v programech velmi pravidelně objevovali různé konstanty, vyjádřené velkým počtem jiných uzlů.

4.2.2 OHODNOCENÍ FITNESS

Nezbytnou součástí genetického programování je ohodnocení vyvinutých programů za účelem relativního porovnání jejich vhodnosti. V našem případě je ohodnocení fitness počítáno jako suma absolutních hodnot rozdílů výstupu programu od vstupních obchodních dat.



Obr. č. 8: Směr ohodnocení fitness

Hlavní částí hodnotící funkce (metoda „evaluateUniversal“ ve třídě problému ECJ aplikace) je programová smyčka, jež postupně zvyšuje hodnotu vstupního terminálu Y. Hodnota toho terminálu odpovídá indexování pole vstupních obchodních dat, takže lze v každém cyklu smyčky přímo porovnat výstup ohodnocovaného programu s odpovídajícím reálným obchodním údajem.

Celková fitness je potom vyjádřena jako součet zjištěných rozdílů. To zároveň usnadňuje další použití, neboť tento tvar odpovídá standardizované fitness použité v ECJ, kde 0 označuje ideální řešení. Se stoupající hodnotou fitness je program, resp. jím vyjádřená regresní funkce méně přesná a tím má také klesají její šance v křížící části algoritmu.

Hodnotící třída také obsahuje mechanismy, dále penalizující řešení v podobě konstantních funkcí a funkcí, které dosahují příliš vysokých či nízkých hodnot vůči trénovacím datům. Tím je uplatněna a priory znalost řešeného problému, kdy lze předpokládat, že se vývoj obchodování nebude ubírat těmito extrémními směry, např. téměř s jistotou víme, že směnný kurz dolaru z nenadání nevyletí až k nekonečnu.

4.2.3 KŘÍŽENÍ A MUTACE

Mutace společně s křížením jsou mechanismy, které probíhají v okamžiku, kdy byli ohodnoceni všichni jedinci v populaci řešení. Jejich funkcí je vytvořit novou generaci jedinců jejich vzájemnou manipulací, založenou z části na základněji jejich hodnocení fitness.

Nová populace je vytvořena z přibližně 10% prostým přenesením vybraných jedinců a z 90% jejich křížením. Použito je také ponechání nejúspěšnějších jedinců v populaci, tzv. elitismus, ponechána je pětice nejlepších.

Ke křížení i přímému přenosu jsou jedinci vybíráni běžnou turnajovou metodou, ve které mají vyšší šanci na vybrání ti s lepší (nižší) fitness. Proces křížení probíhá mezi dvěma vybranými jedinci. U každého je náhodným způsobem zvolen jeden uzel, tyto uzly jsou potom mezi sebou vyměněny včetně svých potomků, resp. jimi tvořených podstromů. ECJ přitom obsahuje mechanismy zajišťující validitu obou nově vzniklých jedinců.

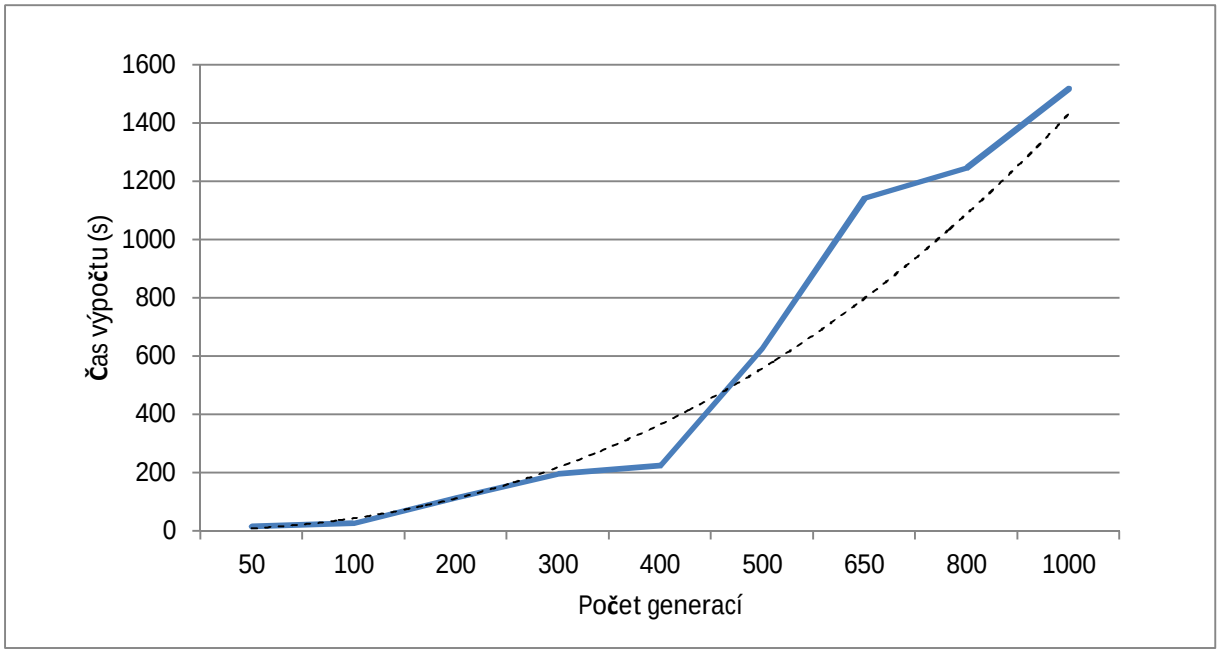
Mutace je dalším geneticky inspirovaným prvkem algoritmu. Probíhá s 1% pravděpodobností pouze u jedinců vzniklých křížením. U jedince je náhodným způsobem vybrán uzel, jenž je spolu s celým podstromem nahrazen nově vygenerovaným stromem o maximální hloubce 17 úrovní. Algoritmem pro vytvoření nové části stromu je „GrowBuilder“ [6] vytvořený podle algoritmu Johna R. Kozy „GROW“ [10].

4.3 VLASTNOSTI EVOLUCE

Základními vlastnostmi, které zásadním způsobem ovlivňují výsledek automatické evoluce, jsou velikost populace a počet generací. Mají velký vliv na kvalitu nalezených řešení a výpočetní čas. Pokud by byla zvolena příliš velká velikost populace a příliš vysoký počet generací, výpočetní nároky by mohli být extrémní. Naopak pokud by parametry byli příliš nízké hodnoty, kvalita nalezených řešení by mohla nevalná.

Nalezení rovnováhy mezi výpočetní bylo předmětem série experimentů provedené na vybrané sadě dat. Počet jedinců byl experimentálně stanoven na 4000. Kdy nižší hodnoty nezaručovali nalezení přijatelných řešení a vyšší již nepřinášeli dostatečné vylepšení konvergence.

Podobná série experimentů byla provedena také pro určení počtu generací. Pro testování byla použita populace o stanovené velikosti 4000 jedinců. Počet generací se potom ve skocích zvyšoval od 50 až po 1000 generací v jednom běhu algoritmu. Naměřené hodnoty byly po skončení experimentů zaznamenány z automaticky generovaných statistických souborů.



Obr. č. 9: Graf časové náročnosti algoritmu

Nově vytváření jedinci v populaci mají tendenci vytvářet čím dál složitější struktury, aby se co nejlépe přizpůsobili řešenému problému. Se složitější strukturou roste také výpočetní čas. Ze zaznamenaných hodnot je patrný exponenciální nárůst výpočetní doby s přibývajícím počtem generací, což je v souladu s předpokládaným chováním.

Obr. č. 10: Graf konvergence algoritmu

Konvergence algoritmu vykazuje zpomalující charakter. Hodnoty na obrázku č. 10 jsou proloženy logaritmickou řadou. Ačkoli počet provedených experimentů není dostatečný pro přesnější odhad, lze říci, že algoritmus pomalu konverguje k hodnotám fitness okolo 1. Také toto zjištění je plně v souladu s očekávaným chováním algoritmu.

5. INTEGRACE S OBCHODNÍ PLATFORMOU MT4

5.1 PROPOJENÍ POMOCÍ DLL KNIHOVNY

Jak už bylo předznamenáno dříve v této práci, pro spojení mezi obchodní a genetickou částí EA je zapotřebí dynamické knihovny (DLL). Knihovna zajišťuje spuštění aplikace v systému ECJ, předání parametrů a následnou datovou komunikaci.

5.1.1 NÁVRH KNIHOVNY

Dynamické knihovny vytvářené pro použití s platformou MT4 musí dodržovat řadu proprietárních standardů, jež bohužel nejsou nikde uvedeny v plném znění ani přes velkou rozšířenost platformy. K návrhu knihovny byl proto zaujat poněkud pragmatický přístup, vycházející z příkladů distribuovaných společně s MT4.

Po prvotních neúspěšných pokusech s kompilací DLL obvyklými způsoby [8] bylo nutné využít kombinaci mnoha různých rad a doporučení z internetových fór [11] vydavatele platformy MT4. Většina z nich se týkala specifických nastavení IDE Microsoft Visual Studio C++, především nastavení kompilátoru a linkeru pro práci se starší verzí knihovny „msvcrt.lib“.

Jádro knihovny potom tvoří dvě hlavní funkce. První zajišťuje kromě spuštění algoritmu také vytvoření pracovního adresáře konkrétního běhu a

správné pojmenování všech souborů, včetně cesty v operačním systému. Druhá má na starosti průběžné načítání aktuálních regresních dat, která byla vytvořena ECJ aplikací. Jelikož se tato prediktivní data mění v každé generaci běhu genetického algoritmu, funkce také podává informaci, zda je již běh genetické části dokončen.

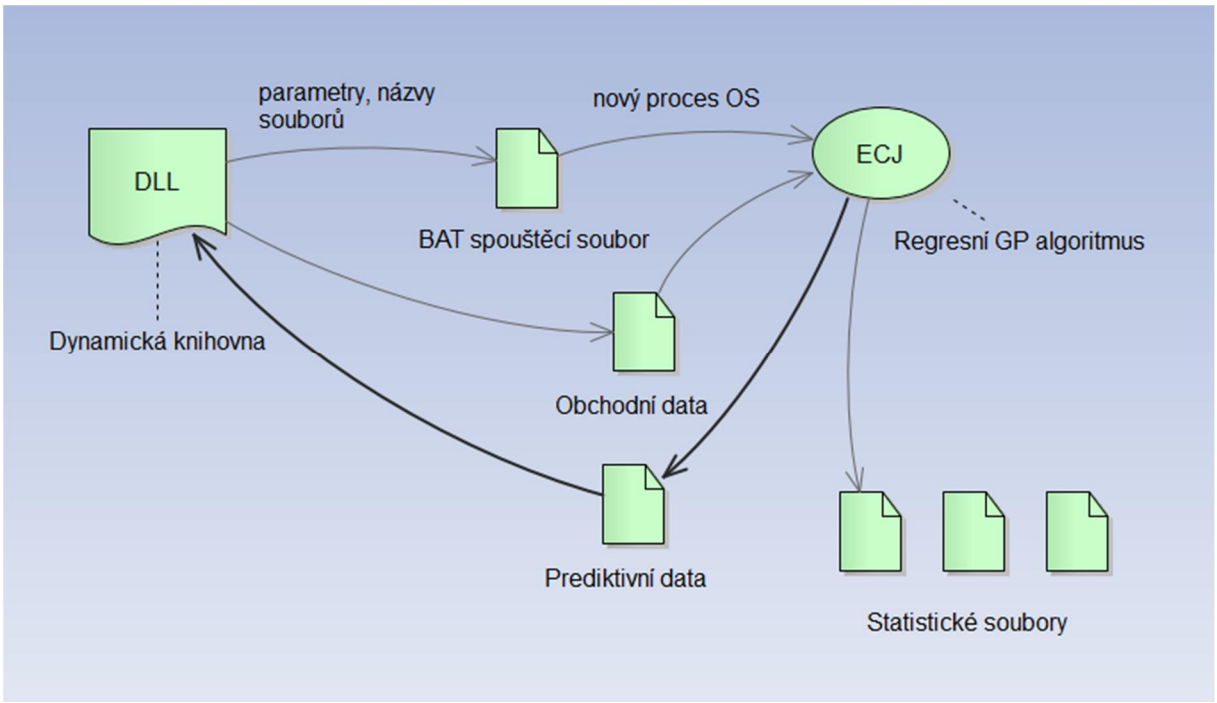
5.1.2 PODROBNÝ POPIS FUNKCE DLL

Knihovna je implementována v jazyce C, její zdrojové kódy by měli být součástí této práce. Hlavními výzvami při implementaci bylo především zajištění spouštění ECJ aplikace a zajištění korektní práce se soubory.

DLL spouští systém ECJ prostřednictvím BAT souboru, který dopředu vygeneruje a uloží. Tento souboru obsahuje všechna nastavení a absolutní cesty k souborům v systému souborů. BAT soubor je volám jako nový proces operačního systému, prostřednictvím interpretu příkazové řádky („cmd.exe“). Jedná se tak o řešení plně závislé na platformě OS Windows.

BAT soubor potom spouští interpret jazyku JAVA v pracovním adresáři ECJ, se vstupní třídou „ec.Evolve“, což je hlavní spouštěcí třída systému ECJ. Při tomto spuštění zároveň předá množství parametrů, DLL může tímto způsobem snadno zvolit, zda spustí 32 nebo 64 bitový JAVA interpret a jak velkou část systémové paměti mu přidělí. Dalším důležitým nastavením je počet výpočetních jader, který je zpřístupněn systému ECJ.

Díky těmto možnostem lze všechny parametry pohodlně nastavit přímo z uživatelského rozhraní obchodní platformy MT4, při vložení expertního poradce.



Obr. č. 11: Podrobné schéma práce DLL knihovny

Pro každé spuštění ECJ aplikace vytvoří knihovna ve výchozím umístění („C:\xevo_ea\“) adresář s názvem a parametry spuštění. Do názvu adresáře je zakódován vlastní název, označení měnového páru, časový úsek odpovídající jednomu datovému údaji (např. M5 pro 5 minutový úsek), počet generací GP, počet jedinců v populaci GP, datum a čas, např. „test[EURUSD][M5][g500][i4000][10-10-2011-22.20]“.

Do adresáře běhu se ukládají vstupní data, nalezená prediktivní data, statistiky konvergence algoritmu a soubor s údajem o celkovém výpočetním čase. Toto řešení je vhodné zejména pro účely pozdější analýzy běhu.

Poslední nepopsanou funkcí knihovny je načtení prediktivních dat. To se děje na vyžádání expertního poradce vždy během krátkého časového okamžiku (1s). Knihovna potom načte soubor s prediktivními daty

z dedikovaného adresáře daného běhu do dynamicky alokovaného pole, které předá zpět poradci.

5.2 EXPERTNÍ PORADCE (EA)

Obchodní část expertního poradce je realizována jako program pro platformu MT4. Použití EA je určeno dvěma faktory, měnovým párem a časovým úsekem. Tyto dva lze běžně zvolit v GUI MetaTraderu. Po načtení se EA inicializuje a přizpůsobí aktuálnímu nastavení obchodovací obrazovky. Lze jej tedy beze změny použít na libovolný měnový pár a časový úsek.

Okamžitě po vložení do obrazovky EA předá prostřednictvím DLL knihovny aktuální obchodní data regresní aplikaci ECJ a požaduje předpověď. Od toho okamžiku dochází k obnovení předpovědi každou vteřinu, až do doby ukončení běhu genetické části algoritmu. Toto obnovování je uskutečněno především z důvodu vizualizace průběhu GP evoluce, pro obchodování použije EA pouze konečnou verzi prediktivních dat.

5.2.1 EXPORT A IMPORT DAT Z ECJ

Datová komunikace mezi obchodní a genetickou částí EA probíhá na abstraktní úrovni velmi jednoduše. Data v podobě otevíracích nákupních

cen za sledované období (defaultní hodnota je 500 cenových údajů do minulosti od aktuálního) se uloží do pole.

Obr. č. 12: Prediktivní data vložená do obchodní obrazovky

Ve stejném formátu, tj. jako otevírací nákupní ceny, jsou načteny hodnoty predikce do zvolené obchodní obrazovky MT4. Zakreslena je nejen predikce, ale také zjištěné proložení stávajících dat regresní funkcí.

5.2.2 VYUŽITÍ PREDIKCE PRO OBCHODOVÁNÍ

Predikce určená genetickým algoritmem je využita pro obchodování relativně jednoduchým způsobem. V predikci (obr. č. 13, modře) jsou vždy nalezeny minimální a maximální hodnoty. Pokud minimální předchází

maximální, EA bude spekulovat na vzrůst, tedy počká na předpovězený okamžik minima a provede nákup. Příkaz ukončí v okamžiku předpovězeného maxima, čím v ideálním případě realizuje profit. Pokud minimální hodnota v predikci naopak následuje hodnotu maximální, pak EA spekuluje na pokles stejným způsobem.

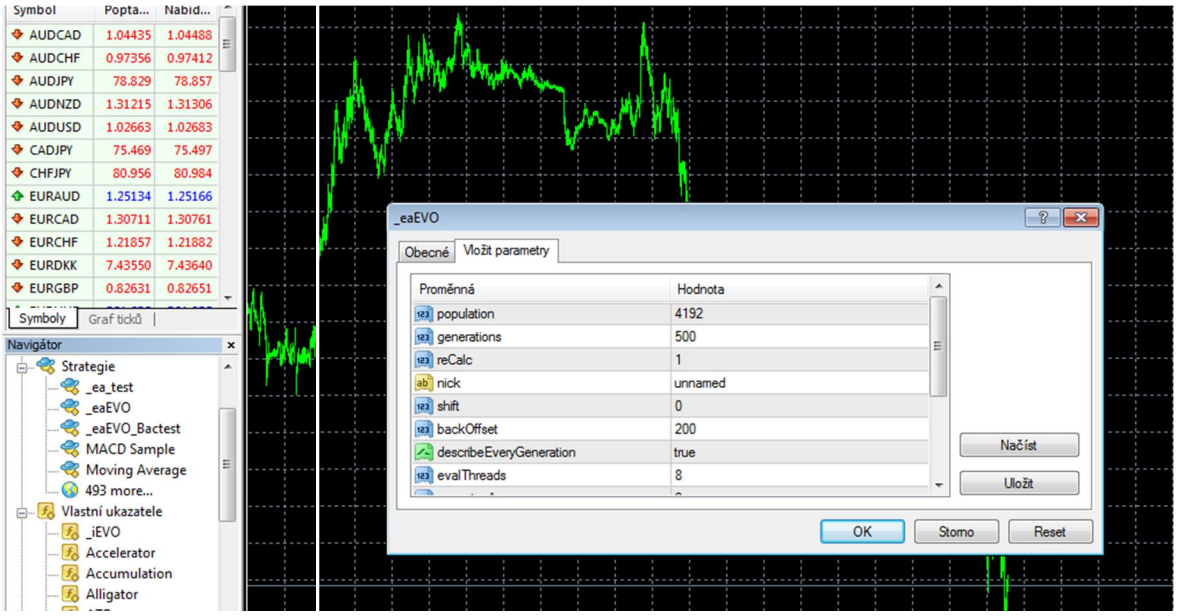
Obr. č. 13: Využití predikce pro umístětní obchodních pokynů

Tento způsob využití predikce byl zvolen s respektem ke slabé stránce predikce, kterou je špatná schopnost odhadovat absolutní hodnotu budoucích obchodních cen. Naopak lépe si regresní algoritmus vede při předvídání obchodního „rytmu“. Předpověď je tak použita nikoli vzhledem k přesným cenám, ale s ohledem na očekávané relativní cenové výkyvy.

5.2.3 Ukázka použití EA

Použití EA v uživatelské rozhraní MT4 se nikterak neliší od jiných expertních poradců. Do obchodní obrazovky se přidává vybráním v okně

„Navigátor“ (obr. č. 14 vlevo dole). Běžná úvodní obrazovka vyzývající k prvotnímu nastavení (obr. č. 14), obsahuje neobvykle vysoké množství parametrů. Jejich charakter je většinou experimentální a lze je ponechat na výchozích hodnotách.



Obr. č. 14: Použití EA v prostředí obchodní platformy

Nastavit lze základní parametry genetického algoritmu jako velikost populace a počet generací. Lze vybrat mezi 32 a 64 bitovým JAVA interpretem pro spuštění ECJ a počet výpočetních jader procesoru, jež budou ECJ přiděleny. Zvolit lze také velikost trénovacího datasetu a délku predikce, jež bude požadována.

EA potom na základě predikce umísťuje popsaným způsobem obchodní transakce o pevné velikosti 1 lot, což je 100 000 jednotek základní měny. Pokud je takový kapitál k dispozici na obchodním účtu.

Vždy po skončení predikovaného období si EA automaticky vyžádá novou predikci ze své genetické části. Je proto možné EA spustit na libovolně dlouhé období bez dalšího nastavování nebo manuálních zásahů.

6. TESTOVÁNÍ EA

6.1 TESTOVACÍ PROSTŘEDÍ

Obchodní software MT4 nabízí rozhraní pro zpětné testování expertních poradců, tzv. „Strategy tester“. Jedná se o nástroj výborně se hodící nejen pro zjištění profitability ukazatele, ale také pro snadné porovnání s výkonem jiných EA na shodných obchodních datech.

Obr. č. 15: Testovací rozhraní MT4

Testovací rozhraní má přístup ke všem datům, zaznamenaným brokerem. Lze tedy vybrat jakýkoli měnový pár a časový úsek datových údajů (M1, M5 atd.) používaný při běžném obchodování. Údaje jsou navíc

přístupné mnoho let zpět, je proto možné k testování zvolit i velmi vzdálené období.

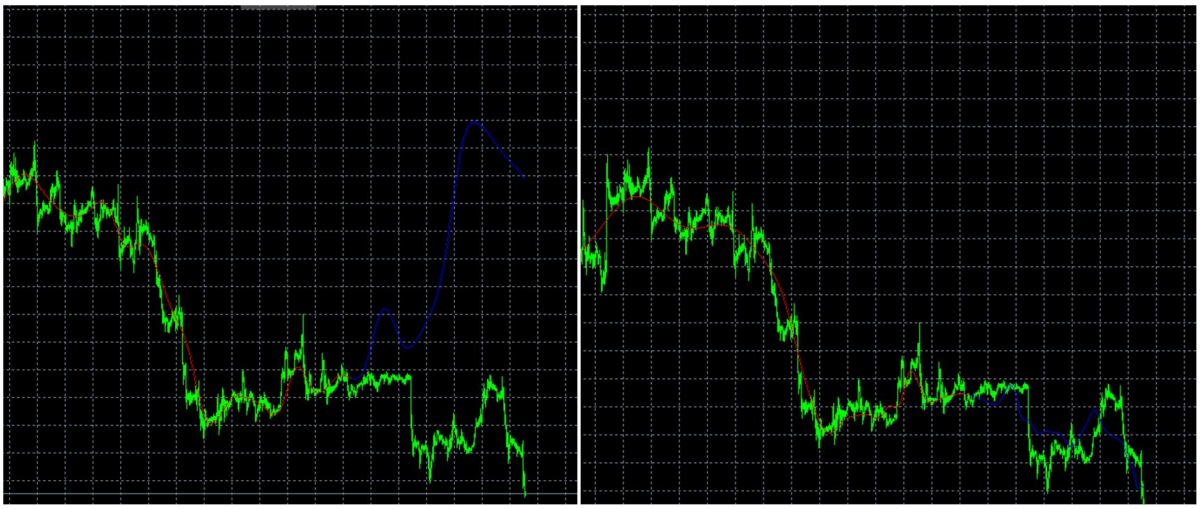
Pro účely testování EA v této práci byly zvoleny dva měsíce roku 2009, září a říjen.

6.2 PŘESNOST PREDIKCE

Přesnost predikce genetické algoritmu je v podstatě klíčovým prvkem této práce, a bylo vynaloženo velké úsilí k nalezení vhodné konfigurace, především použitých GP uzlů a způsobu výpočtu fitness. Vhodná konfigurace byla většinou zjištěna experimentální cestou, jen na základě několika spuštění algoritmu a subjektivního posouzení jejich vlivu na chování predikce.

Tato problematika by zasluhovala mnohem větší prostor, než jí zde mohl být věnován. Především detailní zkoumání vlivu všech možností konfigurace a jejich vlivu na opakovatelnost výsledku.

Právě opakovatelnost predikce na stejných datech, je největším nedostatkem regresního gen. algoritmu. Typický poměr mezi subjektivně dobrými a špatnými predikcemi je zhruba 2:1 ve prospěch špatných předpovědí, v závislosti na aktuální tendenci trhu, viz obr. č. 16 (predikovaná data jsou zaneseny modrou barvou).



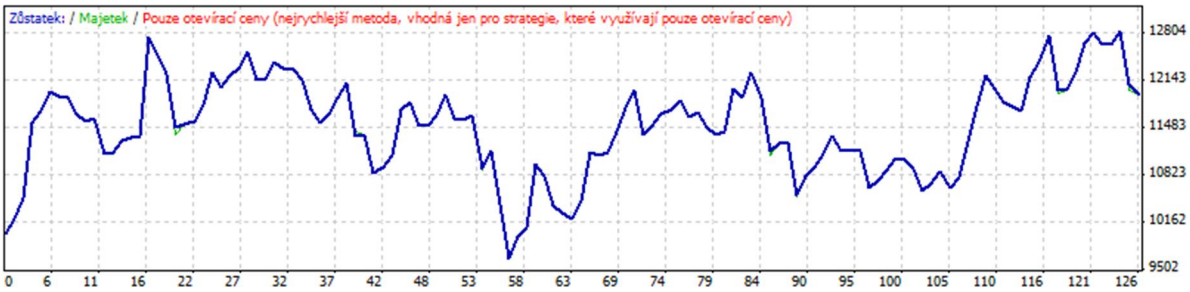
Obr. č. 16: Srovnání predikce dvou různých běhů algoritmu

I přes nepříznivý poměr „podařených“ předpovědí si však EA může zachovat svou profitabilitu, díky relativnímu způsobu obchodování. To je založeno hlavně na rytmu vzestupu a poklesu, které se podaří odhadnout korektně o mnoho častěji (např. na obr. č. 16 vlevo by obchod EA skončil díky správnému načasování jen nízkou ztrátou i přes naprosto chybně odhadnutý trend růstu).

6.3 ANALÝZA VÝKONU

Testování EA proběhlo s výchozím nastavením GP, o 4000 jedincích populace a 500 generacích. Formát datové období bylo M5 (jeden datový údaj shrnuje cenu obchodování během 5 minut reálného času). Prediktivní oblast byla nastavena tak, aby jeden běh alg. poskytl údaje přibližně na jeden den obchodování. Začátek testovacího období byl stanoven na 1.9.2009, konec potom 1.11.2009. Použit byl měnový pár EURUSD pro svou vysokou likviditu. Počáteční bilance testovacího účtu byla 10 000 $.

Evoluce probíhala na hardware s 8 jádrovým procesorem Intel i7 a 8GB operační paměti. Celkový výpočetní čas, jenž byl potřeba pro všechny běhy genetického alg. byl zhruba 18 hodin při 63 bězích. Průměrný čas jednoho běhu byl potom 17 minut 25 vteřin.



Obr. č. 17: Graf vývoje bilance EA během testu

Na konci testu vykazoval EA positivní bilanci účtu 11 953, 95 $, to představuje čistý zisk 1 953, 95 $ za dva měsíce obchodování, což je 19% nárůst. EA otevřel celkem 63 pozic, z nichž bylo 36 ziskových a 27 ztrátových (vizualizace a protokol s podrobným výpisem transakcí by měl být přiložen k této práci).

Celkový zisk ze ziskových obchodů činil 17 382, 82 $, celková ztráta z obchodů ztrátových potom 15 428, 87$. To představuje poměr ziskovosti 1,13. Maximální relativní pokles, vyjadřující míru rizika, byl 3 528, 41 $ (27, 23% z celkové bilance účtu).

Statistické údaje jsou výkonu EA poměrně nakloněny, neboť vykazuje nezanedbatelný zisk při relativně rozumné míře rizika. Jediným nepříznivým ukazatelem je nízký poměr ziskovosti, tj. poměr mezi celkovým objem ziskových a ztrátových transakcí. Upozorňuje tak, na příliš

vysoký objem ztrátových obchodů, což také názorně ukazuje graf vývoje bilance na obr. č. 17.

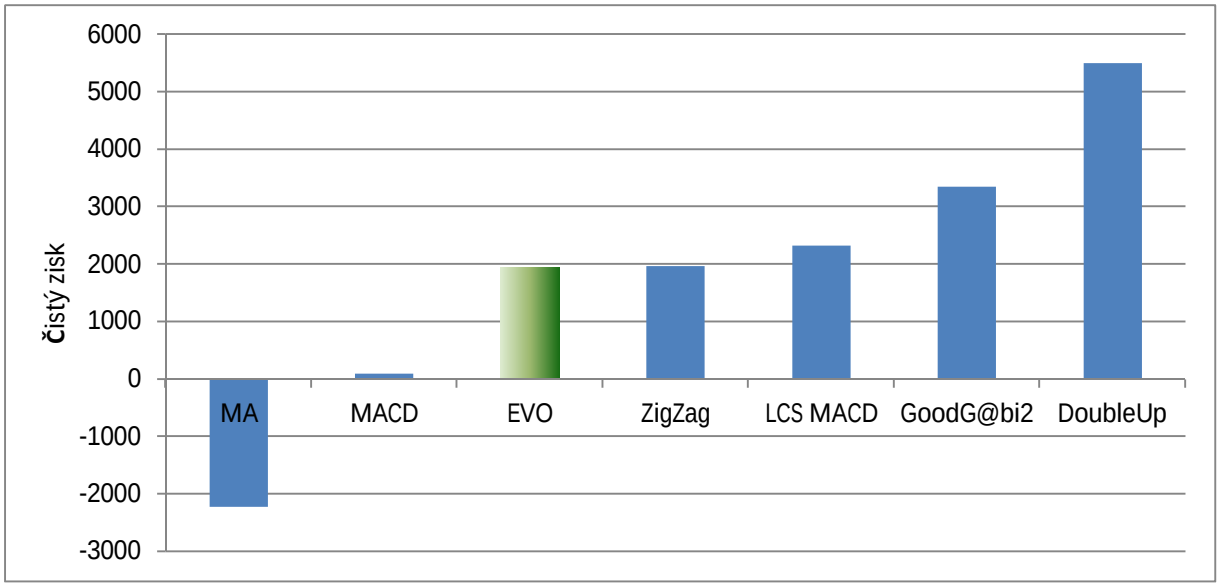
Ztrátové transakce (avšak i některé ze ziskových) jsou většinou způsobeny nekorektní předpovědí.

6.4 SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ S JINÝMI EA

Pro srovnání s výsledků vyvinutého poradce byla použita šestice různých EA. Byly porovnány jejich výkony za stejných podmínek, jež byly shodné s podmínkami během testování v kapitole 6.3.

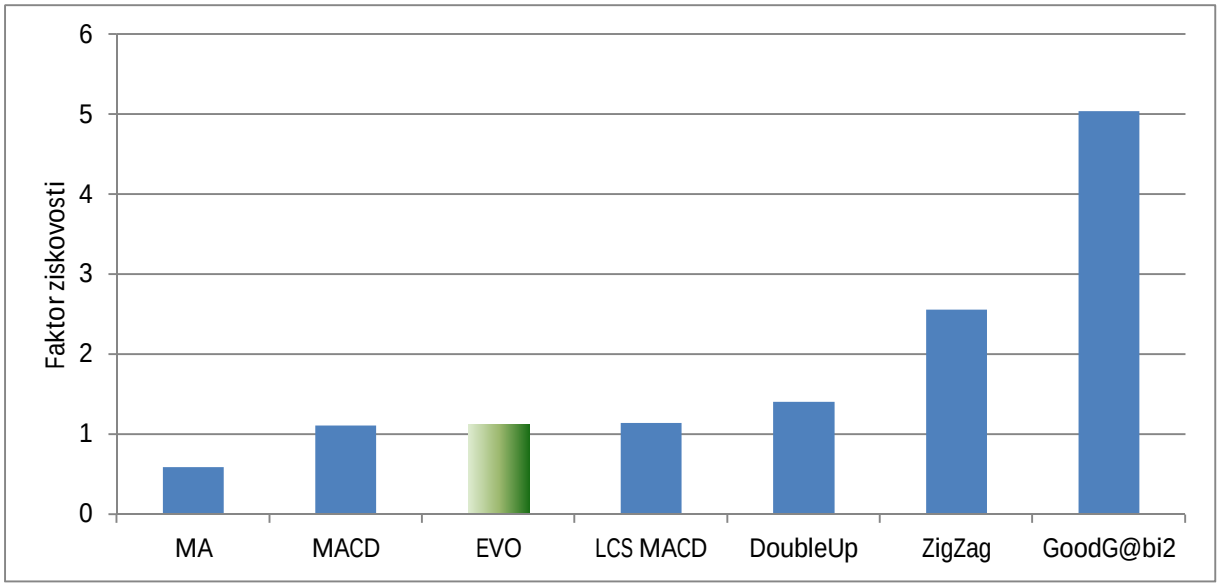
Poradci MA a MACD jsou přímo součástí software MT4 a jedná se o strategie založené na plovoucím průměru. Zbylé EA potom byly staženy z komunitních fór uživatelů platformy [11]. ZigZag je strategie založená na pravidelné střídání vzestupů a poklesů. LCS MACD a GoodG@bi jsou strategie založené na bázi MACD, rozšířené o práci s ukazateli „stochastic“ a momentum. DoubleUp je potom strategie spíše hazardního typu, pravidelně zvyšující objem transakcí.

Pro účely grafického srovnání a dalšího popisu je EA vyvinutý v této práci označen jako „EVO“.



Obr. č. 18: Srovnání profitability EA

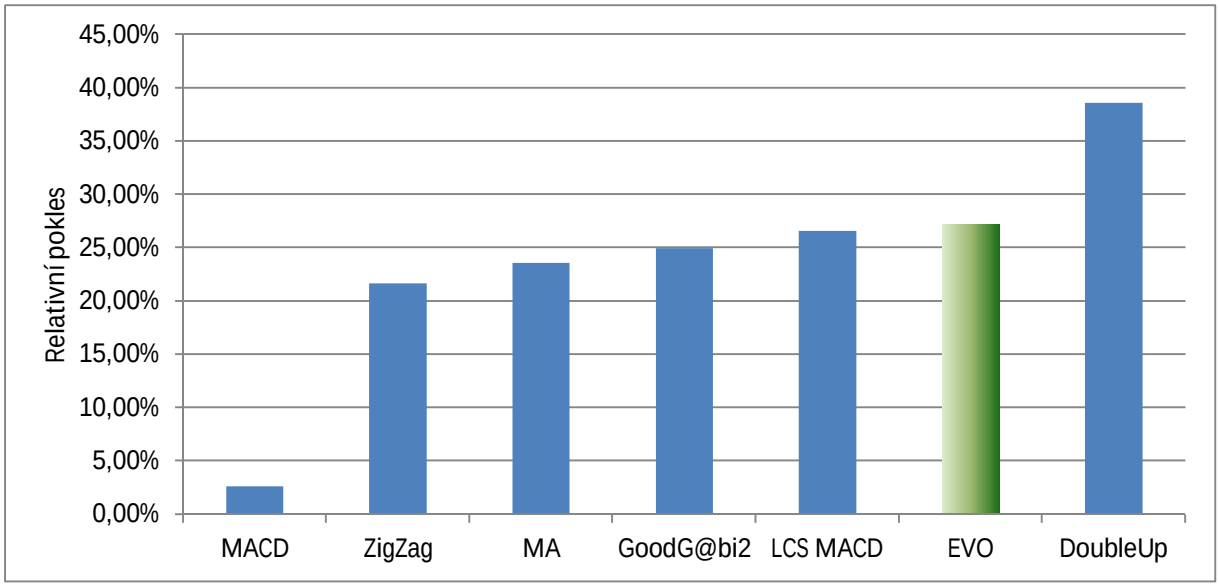
Co se týče profitability, lze EVO zařadit do průměru. Strategie založené pouze na MA si co do ziskovosti nevedly příliš dobře. Naopak se dařilo kombinovaným ukazatelům, k jejichž výkonu lze EVO přirovnat. Strategii DoubleUp se v testu podařilo dosáhnout extrémního zisku, jež převyšuje zisk EVO více než dvojnásobně.



Obr. č. 19: Srovnání faktoru ziskovosti

Faktor ziskovosti je jedním z měřítek efektivity, se kterou EA nakládají se svěřenými prostředky. Čím vyšší faktor, tím vyšší je i pravděpodobnost, že provedou ziskový obchod. V tomto ohledu si EVO nevede příliš dobře, neboť je poměr ziskových a ztrátových obchodů téměř vyrovnaný.

V tomto ohodnocení vítězí propracovanější EA s lepším managementem rizika. EVO se jim v tomto ohledu nemůže rovnat, neboť úplně postrádá řízení výše kapitálu a obchoduje vždy s pevně danou částkou.



Obr. č. 20: Srovnání míry relativního poklesu

Relativní pokles je hlavním měřítkem rizika, jemuž EA vystavil svěřený kapitál. Čím je relativní pokles vyšší, tím vyšší byl i nejvyšší dosažený pokles hodnoty kapitálu. Např. EVO dosáhl max. relativního poklesu 27%, což znamená, že v nejhorším momentu obchodování ztratil zhruba čtvrtinu kapitálu (relativně vzhledem k objemu kapitálu před poklesem).

Ačkoli je EVO v tomto hodnocení na předposledním místě, jeho míra rizika je plně srovnatelná s ostatními EA, jež dosáhli běžných hodnot. Překvapivě nízké hodnoty dosáhl EA založená na MACD, neboť obchodoval jen s velmi malou částí kapitálu. Naopak podle očekávání dopadl EA DoubleUp, jehož strategie z oblasti hazardních her vystavila riziku ztráty téměř dvě pětiny kapitálu.

6.5 SHRNUTÍ A HODNOCENÍ

I přes absenci jakéhokoli managementu rizika zaznamenal vyvinutý EA relativní úspěch. Podařilo se mu uzavřít obchodování se ziskem, přičemž nevystavil kapitál o mnoho většímu riziku, než bylo nutné.

Přesto se objevilo varování v podobě nízkého faktoru profitability, jež upozorňuje na nevýhodný poměr mezi ziskovými a ztrátovými obchody. Oba typy obchodů měli téměř 10x vetší objem, nežli byl finální zisk, což odhaluje značnou „nestabilitu“ a nejistotu v chování EA.

Je také nutné zdůraznit, že kvůli extrémním výpočetním nárokům byl proveden pouze jeden testovací běh a testovací období bylo zkráceno na dva měsíce. Test má tak pouze orientační charakter. Pro přesnější výsledky by bylo nanejvýš vhodné EA dále testovat po několik desítek běhů pro každé období a také zvýšit velikost období ze dvou měsíců na např. rok, případně testovat chování EA odděleně na datech z několika různých let.

EA nebyl navržen pro praktické použití EA a v současné podobě se jeho použití nedá doporučit, vzhledem k nízkému faktoru profitability, a malé míře otestování.

EA byl naopak od počátku zamýšlen jako experiment s cílem ověřit možnosti použití GP pro problém předpovědi chování měnových trhů. Tento experiment se dá považovat za úspěšný, neboť za určitých podmínek, jež nejsou plně prozkoumány, dochází k automatickému vyvinutí velmi přesných předpovědí.

7. MOŽNOSTI BUDOUCÍHO VÝVOJE

7.1 VÝPOČETNÍ VÝKON A PARALELIZACE

Algoritmus GP použitý v této práci pro řešení regresního problému je značně časově náročný. Tuto náročnosti způsobuje především komplexní hodnotící fitness funkce, jež musí procházet u každého jedince vždy celá vstupní data a mnohokrát vyhodnocovat složité stromy řešení.

Tato velká výpočetní náročnost neumožňuje přepočítat regresi znovu při každém cenovém pohybu, což by umožnilo ji přizpůsobit se aktuálnímu dění na trhu a umožnilo by to i případnou změnu aktuální strategie obchodování.

Zřejmým řešením je samozřejmě navýšení výkonu hardware. Vzhledem k tomu že procesor, na němž probíhalo testování, patřil k nejvýkonnějším běžně dostupným procesorům, jsou možnosti dalšího navyšování omezeny na použití superpočítače, výpočetního clusteru nebo výpočtu na grafické kartě (GPU).

Všechny 3 možnosti jsou přitom genetickým systémem ECJ podporovány. Nejdostupnější a zároveň nejvýhodnější možností pro další práci se jeví použití GPU rozšíření ECJ [12], které by umožnilo řádově rychlejší ohodnocení jedinců a tím i celkové markantní zrychlení běhu algoritmu.

7.2 PROLOŽENÍ PREDIKCÍ Z RŮZNÝCH ČASOVÝCH ÚSEKŮ

Jak bylo poznamenáno v podkapitole o chování trhů, tato práce byla inspirována teorií Elliottových vln, jenž by mohla být zároveň také východiskem pro další práci.

Teorie v podstatě říká, že aktuální dění na trhu je složeno z velkých vln. Tyto vlny jsou pak složeny z menších vln. Tím však teorie nekončí a říká, že i tyto jsou složeny z ještě menších vln atd.

Takový koncept by se dal přímo využít při sestavení komplexní předpovědi trhu složené z dílčích předpovědí, tj. krátkodobé, střednědobé i dlouhodobé. Resp. složením předpovědí pro standardizované časové formáty dat (M1, M5 atd.).

Skládání a zjišťování většího počtu předpovědí by však vyžadovalp také vyšší výpočetní výkon. Dalšímu bádání v tomto směru by tak zřejmě musel předcházet některý ze způsobů zvýšení výpočetního výkonu algoritmu z podkapitoly 7.1.

7.3 VYLEPŠENÍ OBCHODNÍ ČÁSTI EA

Výpočetně nejméně náročným vylepšení vytvořeného EA by byla úprava jeho obchodní části. Téměř nezbytným se jeví zavedení některé z forem managementu rizika.

Dalším racionálním krokem by bylo rozeznání chybné predikce a nové spuštění regresního alg. v okamžiku kdy by předpovězené hodnoty nabývaly neobvyklých hodnot.

Další pozornost by také zasluhoval mechanismus umísťování transakcí. V současné verzi se řídí prostým maximem a minimem zjištěné predikce, bez jakékoli další vazby na aktuální dění na trhu. Kvůli schopnosti GP algoritmu předpovědět rytmus poklesů a vzestupů, by zřejmě byla výhodnější jiná forma mechanismu, jež by dokázala sledovat úroveň korelace mezi predikcí a aktuálními obchodními daty.

SEZNAM LITERATURY

1. Shamah, Shan. *A Foreign Exchange Primer.* Chichester : John Wiley & Sons Ltd., 2003. ISBN 0-470-85162-7.

2. Lo, Andrew W. *The Evolution of Technical Analysis: Financial Prediction from Babylonian Tablets to Bloomberg Terminals.* s.l. : Bloomberg Press, 2010. ISBN 1576603490.

3. Poser, Steven W. *Applying Elliott Wave Theory Profitably.* New Jersey : John Wiley and Sons, 2003. ISBN 0-471-42007-7.

4. Horner, Raghee. *Forex tradingem k maximálním ziskům.* Brno : Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-2921-0.

5. Riolo, Rick, Vladislavleva, Ekaterina and Moore, Jason H. Moore. *Genetic Programming Theory and Practice IX.* London : Springer, 2011. ISBN 978-1-4614-1769-9.

6. Luke, Sean. *The ECJ Owner's Manual.* Fairfax : George Mason University, 2010.

7. Luke, Sean a kolektiv. *http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/ecj/.*

8. Corp., Microsoft. *http://www.microsoft.com/visualstudio/en-us/products/2010-editions/express.*

9. Inc., Adobe Systems. *http://www.adobe.com/products/air.html.*

10. Koza., John R. *Genetic Programming II: Automatic Discovery of Reusable Programs.* Cambridge : MIT Press, 1994. ISBN 0262111896.

11. corp., Metaquotes Software. *http://www.mql4.com/.*

12. Robilliard, Denis, Marion, Virginie and Fonlupt, Cyril. *High Performance Genetic Programming on GPU.* Barcelona : ACM, 2009.

PŘÍLOHA A

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BAT Batch, Batch file - soubor příkazů vykonaný interpretem operačního systému

C Programovací jazyk C

CCI Commodity channel index

DDL Dynamic linking library, dynamická knihovna

EA Expert advisor, expertní poradce

ECJ Evoluční výpočetní systém v jazyce JAVA

ERC Ephemeral random constant, náhodná konstanta

EUR Euro

EURUSD Označení měnového páru EUR/USD

FOREX Foreign exchange, mezinárodní měnový trh

GP Genetické programování

GPU Graphical proccesing unit

IDE Integrated development environment, integrované vývojové prostředí

JAVA Programovací jazky JAVA

MA Moving average, plovoucí průměr

MACD Moving average convergence/divergence

MMF Mezinárodní měnový fond

MQL MetaQuotes language

MT4 MetaTrader 4, obchodní software

OS Operační systém

PIP Percentage in point, procentní bod

USD Americký dolar

PŘÍLOHA B

OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

/ (kořenový adresář)

+ jungmto1_bp.docx - bakalářská práce ve formátu DOCX

+ jungmto1_bp.pdf - bakalářská práce ve formátu PDF

+ prirucka.pdf - průvodce instalací a použitím EA

/ ecj - adresář se zdrojovými soubory, rozšiřující systém ECJ

/ mt4 - adresář s obchodní částí EA

/ dll - adresář se zdrojovými kódy propojovací knihovny

/ test - adresář s vizualizací a protokolem z testování EA