UNIVERZITET U BEOGRADU
MATEMATIČKI FAKULTET

Ognjen Ž. Plavšić

RADNI NASLOV

master rad

Beograd, 2022.

Mentor:

dr Milena Vujošević Janičić, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu, Matematički fakultet

Članovi komisije:

dr Filip Marić, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu, Matematički fakultet

dr Jelena Graovac, docent
Univerzitet u Beogradu, Matematički fakultet

Datum odbrane: _____

Porodici

Naslov master rada: RADNI NASLOV

Rezime:

Ključne reči: računarstvo, autosar, clang, llvm, c++

Sadržaj

Glava 1

Uvod

Glava 2

Autosar C++14 standard kodiranja

AUTomotive Open System ARchitecture (AUTOSAR) je razvojno partnerstvo proizvodjača vozila, dobavljača, pružaoca usluga i kompanija iz automobilske industrije i industrija elektronike, poluprovodnika i softvera na globalnom nivou [2]. Cilj Autosara je da stvori i uspostavi otvorenu i standardizovanu softversku arhitekturu za automobilske elektronske upravljačke jedinice (ECU). Radi ostvarenja pomenutih ciljeva AUTOSAR definiše, izmedju ostalog, pravila kodiranja u programskom jeziku C++14 za sigurnosna i kritična okruženja. Glavni sektor primene AUTOSAR C++14 standarda kodiranja je automobilska industrija, medjutim ovaj standard može biti primenjen i na druge ugradjene (*eng. embedded*) aplikacije. Pomenuti standard predstavlja nadogradnju postojećeg MISRA C++:2008 standarda [1].

2.1 Klasifikacija pravila

AUTOSAR C++14 standard definiše 342 pravila od kojih je 154 prisvojeno bez modifikacija od MISRA C++:2008 standarda, 131 su prisvojeni iz drugih C++ standarda i 57 pravila je zasnovano na istraživanju, literaturi ili iz drugih resursa.

Pravila su klasifikovana po nivou obaveze, mogućnosti ispitivanja saglasnosti koda sa pravilom korišćenjem algoritama statičke analize i cilju korišćenja.

Klasifikacija po nivou obaveze deli pravila na obavezna i preporučena. Obavezna pravila predstavljaju neophodne zahteve koje C++ kod mora ispuniti kako bi bio u saglasnosti sa standardom. U slučaju kada ovo nije moguće, formalna od-

stupanja moraju biti prijavljena. Preporučena pravila predstavljaju zahteve koje C++ kod treba ispuniti kad god je to moguce. Medjutim, ovi zahtevi nisu obavezni. Pravila sa ovim nivoom obaveze ne treba smatrati savetom ili sugestijom koja može biti ignorisana i treba ih pratiti kad god je to izvodljivo u praksi. Za ova pravila ne moraju biti prijavljena formalna odstupanja.

Klasifikacija po primenjivosti statičke analize deli pravila na automatizovana, delimično automatizovana i neautomatizovana. Automatizovana su ona pravila kod kojih se ispitivanje saglasnosti koda može u potpunosti automatizovati algoritmima statičke analize. Kod delimično automatizovanih pravila se ispitivanje saglasnosti koda može samo delimilčno automatizovati, na primer, korišćenjem neke heuristike ili pokrivanjem određenog broja slučajeva upotrebe i služi kao dopuna manuelnog pregleda koda. Za neautomatizovana pravila statička analiza ne pruža razumnu podršku. Za ispitivanje saglasnosti koda sa neautomatizovanim pravilima koriste se druga sredstva, kao što su manuelni pregled koda ili drugi alati.

Većina pravila iz Autosar C++14 standarda spadaju u Automatizovana pravila. Alati za statičku analizu koda koji tvrde da podržavaju Autosar C++14 standard moraju u potpunosti obezbediti podršku za sva Automatizovana pravila i delimičnu podršku, u meri u kojoj je to moguće, za pravila koja se ne mogu u potpunosti ispitati algoritmima statičke analize [1].

Primenjivost statičke analize na proveru saglasnosti koda sa odredjenim pravilom u velikoj meri zasniva se na teorijskoj klasifikaciji problema na odlučive i neodlučive. Ukoliko se pravilo zasniva na neodlučivom problemu, odnosno dokazano je da ne postoji algoritam koji bi u konačnom broju koraka odgovorio sa DA ili NE na pomenuti problem, možemo sa sigurnošću reći da alati za statičku analizu nisu u mogućnosti da u potpunosti ispitaju saglasnost koda sa ovim pravilom. Pravilo će verovatno biti klasifikovano kao parcijalno automatizovano ili neautomatizovano ukoliko detektovanje kršenja pravila obuhvata odredjivanje vrednosti koju promenljiva sadrži ili da li program doseže odredjeni deo programa.

Primer parcijalno automatizovanog pravila je:

Pravilo M5-8-1 (obvezno, implementaciono, parcijalno automatizovano)
Desni operand šift operacije treba biti manji izmedju nula i jedan
od bitske širine tipa levog operanda.

Pravilo nije moguće u potpunosti automatizovati jer je očigledno potrebno po-

znavati vrednost desnog operanda, što u opštem slučaju nije moguće zaključiti. Primer ovakvog koda prikazan je na listingu 2.1.

```
1 #include <iostream>
2 #include <cstdint>
3 #include <cstdlib>
4
5 int main(){
6 int8_t u8a = rand() % 100;
7 u8a = (uint8_t) ( u8a << rand() % 10);
8 }
```

Listing 2.1: Kod koji ilustruje nemogućnost primene statičke analize

Medjitim, ukoliko je desni operand konstanta ili constexpr promenljiva, vrlo je verovatno da će alat za statičku analizu biti u stanju da zaključi vrednost ove promenljive (s obzirom da su ove vrednosti poznate tokom kompilacije), a samim tim i ispitati saglasnost koda sa ovim pravilom. Primer ovakvog koda prikazan je na Listingu 2.2.

```
1 #include <iostream>
2 #include <cstdint>
3 #include <cstdlib>
4
5 int main(){
6 int8_t u8a = rand() % 100;
7 u8a = (uint8_t) ( u8a << 7);
8 }
```

Listing 2.2: Kod čija se ispravnost jednostavno može utvrditi statičkom analizom

Napredniji alati za statičku analizu koji podržavaju simboličko izvršavanje programa (npr. Clang Static Analyzer) mogu pokriti i znatno kompleksnije slučajeve od slučaja prikazanog u Listingu 2.2.

Ukoliko su pravila koja se odnose na implementaciju C++ projekta, odnosno na C++ konstrukte i semantiku programa, dovoljno kompleksna, može se desiti da u potpunosti nije moguće koristiti alate za statičku analizu. Ovo uglavnom znači da je broj slučajeva upotrebe koji algoritmi iz statičkih alata mogu pokriti, zanemarljiv. Medjutim, odredjeni broj pravila koja su klasifikovana kao Neautomatizovana odnose se na aspekte koda koji zavise od samog projekta u okviru kog je kod napisan, stoga je nemoguće koristiti algoritme statičke analize. Primer ovakvog pravila je:

Pravilo A1-4-2 (obvezno, implementaciono, neautomatizovano)
Sav kod treba poštovati definisane granice metrika koda.

Kako bi se odredilo da li je kod napisan u skladu sa ovim pravilom, očigledno je potrebno poznavati koje metrike koda se koriste u okviru projekta i granice definisane za te metrike. S obzirom da je ovo specifično za sam projekat, mogu se koristiti interni alati za statičku analizu koda u kombinaciji sa manuelnim pregledom koda.

Klasifikacija pravila prema cilju primene (slučaju upotrebe) deli pravila na implementaciona, verifikaciona, pravila za alate i infrastrukturna. Implementaciona su ona pravila koja se odnose na samu implementaciju projekta odnosno na kod, arhitekturu i dizajn. Verifikaciona pravila odnose se na proces verifikacije koji uključuje pregled koda, analizu i testiranje. Pravila za alate odnose se na softverske alate kao što su pretprocesor, kompajler, linker i biblioteke kompajlera. Infrastrukturna su ona pravila koja se odnose na operativni sistem i hardver [1].

2.2 Opis implementiranih pravila

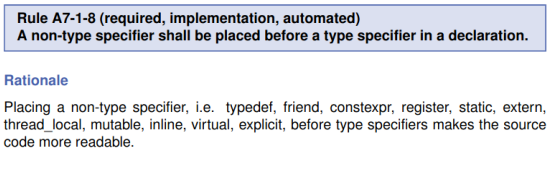
Pored formalne klasifikacije opisane u prethodnom poglavlju, pravila u okviru samog dokumenta AUTOSAR C++14 standarda kodiranja struktuirana su po poglavljima. Struktura poglavlja ovog dokumenta slična je strukturi iz samog C++ standarda ISO/IEC 14882:2014. Svako poglavlje odgovara jednoj komponenti (svojstvu) C++14 jezika, to jest, sadrži pravila koja se odnose na tu komponentu.

Pravila razmatrana u ovom radu predstavljaju podskup pravila koja se odnose na deklaracije. Razlog za ovo je dvojak. Deklaracije predstavljaju jedan od osnovnih i najvažnijih koncepta u C++-u i programiranju generalno. U C++-u deklaracije čine samu srž ekspresivne moći jezika i u direktnoj su vezi sa naprednijim konceptima jezika i računarastva, kao što je, na primer, šablonsko metaprogramiranje (*eng. template metaprogramming*). Sa druge strane jednostavnost sintakse deklaracija u C++-u čini pogodno tlo za korišćenje kompajlerskih tehnika i struktura u okviru Clang kompajlera kojim se mogu analizirati konstrukti jezika koji nisu u skladu sa pravilima i predlagati prikladne alternative.

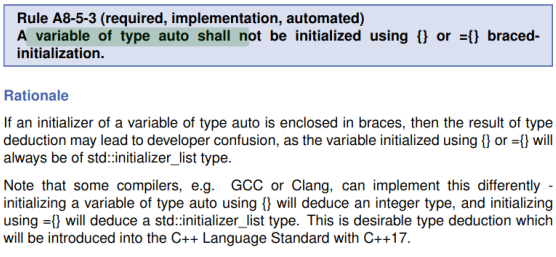
Sva implementirana pravila u okviru projekta spadaju, prema klasifikaciji iz prethodnog poglavlja, u sledeće kategorije:

1. Obavezna, prema klasifikaciji po obavezi.
2. Automatizovana, prema klasifikaciji po primenjivosti statičke analize.
3. Implementaciona, prema klasifikaciji po cilju primene.

Razmatrana pravila nisu nužno implementirana u potpunosti u okviru Autofix alata, iako činjenica da pravila spadaju u kategorije obaveznih i automatizovanih implicira da je to teorijski moguće uraditi. Pravila koje Autofix podržava birana su tako da se ograničenja koja potiču iz same prirode projekta minimalno manifestuju. Ograničenja potiču od primarnih tehnologija i biblioteka kojima je alat implementiran ali i činjenice da se alat zasniva na predlogu izmena koda. Clang Statički analizator (*eng. Clang Static Analyzer*) nije korišćen u okviru ovog alata, tako da su pravila izabrana tako da što manji broj slučajeva upotrebe zahteva simboličko izvršavanje programa. Drugo ograničenje potiče iz činjenice da u nekim slučajevima nije moguće ili je znatno komplikovanije kreirati predlog ispravke koda (*eng. fixit hint*). Pravila razmatrana u okviru ovog rada birana su tako da se većina konstrukta koji nisu u saglasnosti sa pravilom mogu detektovati analizom Clang-ovog AST-a i da se za njih mogu kreirati razumne alternative koje su u skladu sa Autosar C++14 standardom. Primeri pravila koje podržava Autofix alat prikazani su na slikama 2.1 i 2.2.



Slika 2.1: Pravilo A7-1-8



Slika 2.2: Pravilo A8-5-3

Glava 3

LLVM (nije spremno za reivew)

LLVM projekat predstavlja kolekciju modularnih i ponovo iskoristivih kompajlerskih tehnologija i alata. Započet je 2000. godine kao instražički projekat Krisa Latnera (*eng. Chris Lattner*) i Vikrama Advea (*eng. Vikram Adve*) na Univerzitetu Ilinois.

LLVM podržava kompilaciju različitih programskih programiskih jezika na mnoštvo različitih arhitektura hardvera. Jednostavnost dodavanja podrške kompilacije programskog jezika za hardversku arhitekturu omogućeno je fleksibilnim dizajnom kod kog je infrastruktura kompajlera ugrubo podeljena na 3 dela. Izvorni kod podržanih jezika prevodi se u LLVM medjukod bibliotekama koji predstavljaju prednji deo kompajlera (*eng. frontend*). Zatim se nad medjukodom vrši niz optimizacija koje su nezavisne od izvornog koda ali i ciljne arhitekture. Biblioteke koje implementiraju pomenute optimizacije čine srednji deo (*eng. middleend*) infrastrukture LLVM-a. Poslednji deo dizajna čini zadnji deo (*eng. backend*) kompajlera prilikom kog se generiše izvršni kod za ciljnu arhitekturu od LLVM medjukoda.

3.1 Clang

Clang projekat predstavlja prednji deo (*eng. frontend*) LLVM kompajlerske infrastrukture za C familiju jezika (C, C++, Objective C/C++, OpenCL ...). Pored optimizacija i efikasnog generisanja LLVM medjukoda karakterističan je po ekspresivnosti dijagnostike odnosno kvalitetu poruka upozorenja i grešaka prijavljenih za izvorni kod. Dizajn Clang-a se sastoji od mnoštva biblioteka od kojih su najznačajnije za dizajn sledeće:

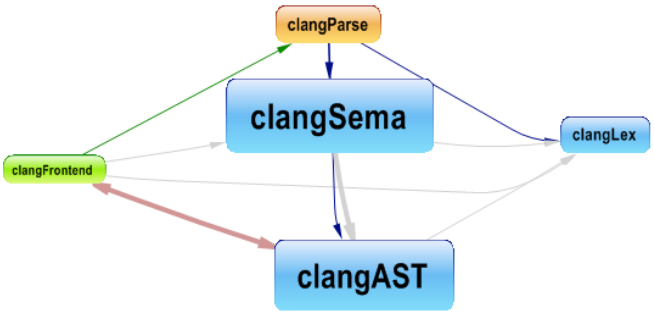
1. **Lekser i Predprocesor**
   Implementira leksičku analizu i predprocesiranje izvornog koda. Pruža mogućnost uključivanja datoteka zaglavlja, proširenja makroa, uslovne kompilacije i kontrole linija. Kreira niz tokena od sintakse izvornog koda.

2. **Parser**
   Kreira sintaksne strukture C++-a od niza tokena dobijenih leksičkom analizom. Clang-ov parser implementiran je kao parser rekurzivnog spuštanja, odnosno analizira izvorni kod od vrha ka dnu nizom rekurzivnih funkcija.

3. **AST biblioteka**
   Ova biblioteka implementira algoritme i strukture podataka koje parser koristi za izgradnju AST-a. Specifična je po strukturi čvorova koji podsećaju na izvorni C++ kod što je čini pogodnim za kreiranje alata za refaktorisanje koda i statičku analizu.

4. **Sema**
   Vrši semantičku analizu programa tokom parsiranja i od semantički validnih konstrukta kreira AST. Usko je povezana sa parserom i AST bibliotekom.

5. **Biblioteka za generisanje koda (eng. CodeGen Library)**
   Dobija AST kao ulaz i od njega generiše LLVM medjukod.



Slika 3.1: Odnos osnovnih biblioteka Clang-a

3.2 AST biblioteka

Ekspresivnost Clang-ove dijagnostike i jednostavnost kreiranja moćnih alata za statičku analizu u velikoj meri oslanja se na dizajn Clang-ove AST biblioteke.

Struktura AST-a može se jednostavno ispisati na standardni izlaz Clang-ovom -ast-dump opcijom. Komanda na listingu 3.1 ispisuje na standardni izlaz AST za kod iz fajla hello.cpp prikazanog na listingu 3.2. Slika 3.1 predstavlja AST ispis dobijen komandom iz listinga 3.1.

```
1 $ clang -Xclang -ast-dump hello.c
```

Listing 3.1: Komanda za ispisivanje Clang-ovog AST-a

```
1 int main(){
2   int a = 4;
3   int b = 5;
4   int result = a * b + 8;
5 }
```

Listing 3.2: Kod čiji je AST prikazan na slici 3.1

Čvorovi od kojih je izgradjen AST predstavljaju apstrakciju sintaksnih struktura iz samog jezka. Svi čvorovi Clang-ovog AST-a nasledjuju jednu od tri osnovne (bazne) klase:

- *Decl*
- *Stmt*
- *Type*

Ove klase redom opisuju deklaracije, naredbe i tipove iz C familije jezika. Na primer IfStmt klasa opisuje 'if' naredbe jezika i direktno nasledjuje Stmt klasu. Sa druge strane FunctionDecl i VarDecl klase koje se koriste za opisivanje deklaracija i definicija funkcija i varijabli (promenljivih) ne nasledjuju dikertno klasu Decl već nasledjuju više njenih podklasa.

- ***Klasa Type***
  Tipovi igraju važnu ulogu u ekspresivnosti Clang-ove dijagnostike. Dizajn ove klase ključan je za preciznost emitovanih poruka upozorenja i grešaka u kodu. Na primer, upozorenja vezana za kod koji koristi tip std::string, ispisaće baš taj tip u svojim porukama umesto tipa koji $std :: string$ predefiniše, a to je $std :: basic\_string < char, std : .. > .$ Iza ove funkcionalnosti stoji ideja kanonskih tipova.

Svaka instanca klase Type sadrži pokazivač na svoj kanonski tip. Za jednostavne tipove koji nisu definisani korićenjem *typedef* naredbe pokazivač na kanonski tip će zapravo pokazivati na sebe. Za tipove čija struktura uključuje *typedef* naredbu kanonski pokazivač pokazivaće na strukturno ekvivalentan tip bez *typedef* naredbi. Na primer, kanonski tip tipa $int*$ sa listinga 3.3 biće sam taj tip, dok će kanonski tip za foo * biti int *.

```
1 int *a;
2 typedef int foo;
3 foo *b;
```

Listing 3.3: Demonstracija kanonskih tipova

Ovakvim dizajnom omogućno je semantičkim proverama da donose zaključke direktno o pravom tipu ignorišući typedef naredbe kao i efikasno poredjenje strukturne identičnosti tipova.
Klasa Type ne sadrži informacije o kvalifikatorima tipova kao što su const, volatile, restrict itd... Ove informacije enkapsulirane su u klasi QualType koja suštinski predstavlja par pokazivača na tip (objekat klase Type) i bitova koji predstavljaju kvalifikatore. Čuvanje kvalifikatora u vidu bitova omogućuje veoma efikasno dohvatanje, dodavanje i brisanje kvalifikatora za tip. Postojanje ove klase smanjuje upotrebu hip memorije time što se ne moraju kreirati duplikati tipova sa različitim kvalifikatorima. Na hipu se alocira jedan tip, a zatim svi kvalifikovani tipovi pokazuju na alocirani tip na hipu sa dodatim kvalifikatorima.

- *Stmt*
- *Type*

Glava 4

Zaključak

Literatura

[1] AUTOSAR. Guidelines for the use of the C++14 language in critical and safety-related systems, 2017.

[2] AUTOSAR. AUTOSAR official website, 2018.

Biografija autora