Processo de Conformidade Arquitetural em Integração Contínua

Arthur F. Pinto, Ricardo Terra

Departamento de Ciência da Computação,
Universidade Federal de Lavras (UFLA), Brasil

arthurfp@sistemas.ufla.br, terra@dcc.ufla.br

Abstract. *As software evolves, developers usually introduce deviations from the planned architecture, due to unawareness, technical difficulties, deadlines, etc. Although architectural compliance processes identify architectural violations, (i) these tools are underused and (ii) detected violations are rarely corrected. To address these shortcomings, this paper proposes a solution of architectural compliance into Continuous Integration. Thus, the architectural compliance process is triggered by every code integration, and when no violations are detected, the code is integrated into the repository. In addition, this paper presents the ArchCI tool—that implements the proposed solution using DCL as underlying conformance technique and Jenkins as the Continuous integration server—and a controlled evaluation that demonstrates the applicability of the solution.*

Resumo. *No decorrer de um projeto de software, desenvolvedores normalmente introduzem desvios em relação à arquitetura planejada, seja por desconhecimento, dificuldades técnicas, prazos curtos, etc. Embora processos de conformidade arquitetural identifiquem violações arquiteturais, (i) essas ferramentas são subutilizadas e (ii) violações detectadas são raramente corrigidas. Diante disso, este artigo propõe uma solução de conformidade arquitetural em Integração Contínua. Isso implica que o processo de conformidade arquitetural é ativado a cada integração de código e, quando violações não forem detectadas, o código poderá ser integrado ao repositório. Além disso, este artigo apresenta a ferramenta ArchCI – que implementa a solução proposta usando DCL como técnica de conformidade e Jenkins como servidor de Integração Contínua – e uma avaliação controlada que demonstra a aplicabilidade da solução.*

1. Introdução

No decorrer de um projeto de software, desenvolvedores normalmente introduzem desvios em relação à arquitetura planejada, seja por desconhecimento, dificuldades técnicas, prazos curtos, etc. [14, 13, 19]. Isso se agrava em projetos com vários desenvolvedores uma vez que o acúmulo dos possíveis desvios arquiteturais que podem ocorrer durante sua implementação, são potencializados pelo aumento do número de desenvolvedores em um projeto, levando ao fenômeno conhecido como erosão arquitetural [11, 6]. Mais importante, esses desvios arquiteturais impactam negativamente o projeto, podendo anular características essenciais de um sistema, como manutenibilidade, reusabilidade, escalabilidade, portabilidade, etc. [13, 20].

Embora processos de conformidade arquitetural identifiquem violações arquiteturais, (i) essas ferramentas são subutilizadas e (ii) violações detectadas são raramente corrigidas. Diante disso, este artigo propõe uma solução de conformidade arquitetural em Integração Contínua. Isso implica que o processo de conformidade arquitetural é ativado a cada integração de código e, quando violações não forem detectadas, o código poderá ser integrado ao repositório, o que soluciona os problemas *(i)* e *(ii)*. Além disso, este artigo apresenta a ferramenta ArchCI – que implementa a solução proposta usando DCL (*Dependency Constraint Language*) como técnica de conformidade [19] e Jenkins como servidor de Integração Contínua [16] – e uma avaliação controlada que demonstra a aplicabilidade da solução.

O restante deste artigo está organizado como a seguir. A Seção 2 introduz conceitos fundamentais ao estudo. A Seção 3 descreve a solução proposta que evita os problemas decorrentes de um processo de erosão arquitetural. A Seção 4 detalha a implementação da ferramenta ArchCI. A Seção 5 avalia a aplicabilidade da solução proposta. Por fim, a Seção 6 apresenta as considerações finais e trabalhos futuros.

2. Background

2.1. Controle de Versão

Um sistema de controle de versão (*Version Control System*, VCS) é um software com a finalidade de gerenciar diferentes versões no desenvolvimento de artefatos de um projeto [17, 18]. Como principal contribuição, oferece rastreabilidade das alterações, como o responsável pelas mudanças, hora e data, diferenças das versões, etc.

Os sistemas podem ser centralizados ou distribuídos [9]. VCSs centralizados apresentam repositórios de códigos, onde o acesso e a escrita de dados estão restritos a um grupo de desenvolvedores [2]. VCSs distribuídos, por outro lado, trabalham com a arquitetura *peer-to-peer*, de forma que cada cópia de um projeto contém todo o histórico e os metadados do projeto, garantindo aos desenvolvedores a capacidade de compartilhar as mudanças da forma que mais se adeque às suas necessidades [12]. Dentre as principais ferramentas de controle de versão – CVS, SVN, Git e Mercurial – escolheu-se, para o desenvolvimento deste projeto, o Git[1] por oferecer a possibilidade de se desenvolver de maneira centralizada e distribuída, além de ser um dos mais utilizados atualmente [12].

Neste artigo, é importante a contextualização com os seguintes conceitos [17, 18]: (i) *tag*, nome simbólico atribuído à uma versão específica; (ii) *branch*, divisão do desenvolvimento global em um conjunto específico de versões de arquivos fontes, onde o mesmo é identificado por uma *tag*; (iii) *commit*, comando que integra as alterações de um desenvolvedor a um *branch* do repositório local; e (iv) *push*, comando que integra uma série de *commits* de um desenvolvedor a um *branch* do repositório remoto.

2.2. Integração Contínua

Integração Contínua (*Continuous Integration*, CI) trata-se da prática de desenvolvimento de software, onde membros de uma equipe incorporam certas mudanças ao software, aplicando processos de compilação e testes que asseguram a integridade do projeto [8]. Essa prática facilita na detecção de erros e problemas nas fases anteriores à conclusão do

[1] http://git-scm.com/

software, visando um menor custo de reparo [3]. A solução proposta neste artigo objetiva complementar esse processo de integração, provendo meios de verificar a arquitetura do sistema de software.

Servidores de CI podem ser configurados para verificarem sempre que mudanças são realizadas em um repositório [7]. Assim, recupera as versões mais recentes das classes, compila o código, e, em seguida, executa os testes para integração, exibindo os resultados aos desenvolvedores [4]. Dentre os servidores de CI mais relevantes – Jenkins, TeamCity e CruiseControl – o Jenkins[2] conseguiu um alcance maior na comunidade *open-source* [16], tendo assim, certa vantagem para a identificação e correção de *bugs*, bem como certas melhorias, se tornando o servidor mais recomendado para este projeto.

Gerrit[3]: A fim de fornecer um ambiente para revisão das integrações de código realizadas, utiliza-se neste projeto a plataforma Gerrit. A plataforma trabalha com um repositório de código próprio e toda integração (*push*) é realizada obrigatoriamente em um *branch* (adotando-se o prefixo `HEAD : refs/for/` seguido pelo nome do *branch* alvo), que embora não tenha sido definido no repositório, é fornecido exclusivamente pelo Gerrit para a revisão da integração. Cada integração realizada por parte do desenvolvedor torna-se disponível para análise ou mesmo para a aprovação de sua unificação (*merge*) ao seu respectivo *branch* alvo. Ademais, o Gerrit provê *scripts* personalizados, denominados *hooks*, que são disparados quando certas ações ocorrerem no servidor.

2.3. Conformidade Arquitetural

Conforme um projeto de software é desenvolvido, sua arquitetura está sempre evoluindo à medida que seu sistema também evolui. Portanto, são necessários meios de rastrear essas evoluções e outros aspectos implícitos do sistema de software. Esse processo é chamado de *architectural monitoring* [11]. Torna-se, assim, imprescindível para um sistema de software buscar uma maior conformidade entre a arquitetura planejada e sua implementação atual. Contudo, é comum o acúmulo de violações arquiteturais ao longo do tempo, levando ao fenômeno conhecido como erosão arquitetural [14].

Define-se como erosão arquitetural o fenômeno que ocorre quando a arquitetura implementada de um sistema de software diverge de sua arquitetura planejada [6]. Existem diversas técnicas, que por meio do processo de *architectural monitoring* ou pela definição de restrições arquiteturais, podem ser utilizadas no intuito de evitar a erosão arquitetural. Como principais técnicas, pode-se citar: Modelos de Reflexão [10], Matrizes de Dependências Estruturais [15], Source Code Query Languages [21], ArchJava [1], Testes de Desenho [5], e Linguagens de Restrição Arquiteturais [19]. Dentre essas técnicas, será utilizada neste projeto uma Linguagem de Restrição Arquitetural conhecida como DCL. Sua linguagem simples e autoexplicativa, bem como sua alta expressividade na forma de se tratar o problema de erosão arquitetural fazem do DCL, a ferramenta mais adequada para a realização deste projeto.

Linguagem DCL: DCL é uma linguagem declarativa de domínio específico, que apoia a definição de restrições estruturais entre módulos em sistemas orientados a objetos, tendo como objetivo principal, restringir a organização modular de um sistema de software, em

[2]http://jenkins-ci.org/
[3]http://gerrithub.io/

vez de seu comportamento [19]. Através da definição de restrições estruturais por meio do DCL, torna-se possível capturar dois tipos de violações arquiteturais: *divergências* (quando uma dependência observada no código fonte não está de acordo com o modelo arquitetural do sistema) e *ausências* (dependência inexistente no código fonte, mas que é obrigatória de acordo com o modelo arquitetural). Essencialmente, esse modelo abrange qualquer forma de relação entre classes que podem ser verificadas estaticamente.

Por meio dessa técnica, definem-se *módulos* que são conjuntos de classes e, em seguida, *restrições arquiteturais* entre os módulos definidos, conforme Figura 1.

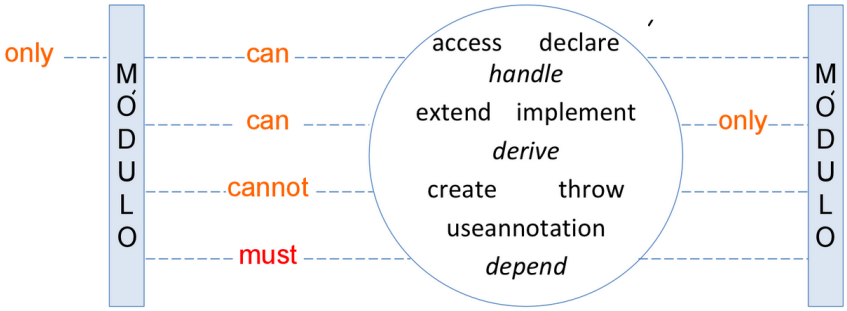


Figura 1. Sintaxe DCL

O exemplo a seguir demonstra a definição e o funcionamento de tais restrições estruturais entre módulos:

```
1: only Factory can-create Product
2: Util can-depend-only $java, Util
3: View cannot-access Model
4: Product must-implement Serializable
```

A restrição da linha 1 especifica que somente classes do módulo `Factory` podem criar objetos de classes no módulo `Product`. A restrição da linha 2 especifica que que as classes do módulo `Util` podem estabelecer dependências somente com o próprio módulo `Util` e a biblioteca padrão da linguagem Java. Já a restrição da linha 3 especifica que as classes do módulo `View` não podem acessar as classes do módulo `Model`. Por último, a restrição da linha 4 especifica que todas as classes no módulo `Product` devem implementar a interface `Serializable`.

Como pode ser observado, é de suma importância a definição de restrições arquiteturais. DCL provê quatro tipos de restrições: *cannot*, *can only*, *only can* e *must*. Assuma os módulos M_A e M_B de um sistema. Assuma também que A e B representem duas classes aleatórias do sistema e que $\overline{M_A}$ representa o complemento de M_A, assim como $\overline{M_B}$ representa o complemento de M_B. Por fim, assuma que `dep` corresponde às possíveis dependências que podem ser especificadas por meio do DCL, como *create*, *access*, *declare*, *handle*, etc. Dessa forma, é possível estipular a seguinte semântica vinculada ao tipo de restrição *cannot*:

$$\exists \mathtt{A}\, \exists \mathtt{B}\, [\, \mathtt{A} \in \mathtt{M_A} \ \wedge \ \mathtt{B} \in \mathtt{M_B} \ \wedge \ \mathtt{dep}(\mathtt{A}, \mathtt{B})\,]$$

Assim, para os tipos de restrição *can only* e *only can*, as semânticas podem ser estipuladas em função da restrição *cannot*:

$$\texttt{only}\ \mathtt{M_A}\ \texttt{can-dep}\ \mathtt{M_B} \implies \overline{\mathtt{M_A}}\ \texttt{cannot-dep}\ \mathtt{M_B}$$

$$\mathtt{M_A}\ \texttt{can-only-dep}\ \mathtt{M_B} \implies \mathtt{M_A}\ \texttt{cannot-dep}\ \overline{\mathtt{M_B}}$$

Por fim, a semântica vinculada ao tipo de restrição *must*:

$$\exists \mathtt{A}\, \neg \exists \mathtt{B}\, [\, \mathtt{A} \in \mathtt{M_A} \ \wedge\ \mathtt{B} \in \mathtt{M_B} \ \wedge\ \mathtt{dep(A,B)}\,]$$

3. Solução Proposta

Embora processos de conformidade arquitetural identifiquem violações arquiteturais, (i) essas ferramentas são subutilizadas e (ii) violações detectadas são raramente corrigidas. Diante de tal cenário, a solução proposta garante que o processo de verificação de conformidade arquitetural seja realizado em um servidor de CI sem a necessidade de instalações em máquinas de desenvolvedores. Assim, integrações de código com violações serão sempre detectadas e devidamente tratadas, conforme ilustrado na Figura 2.

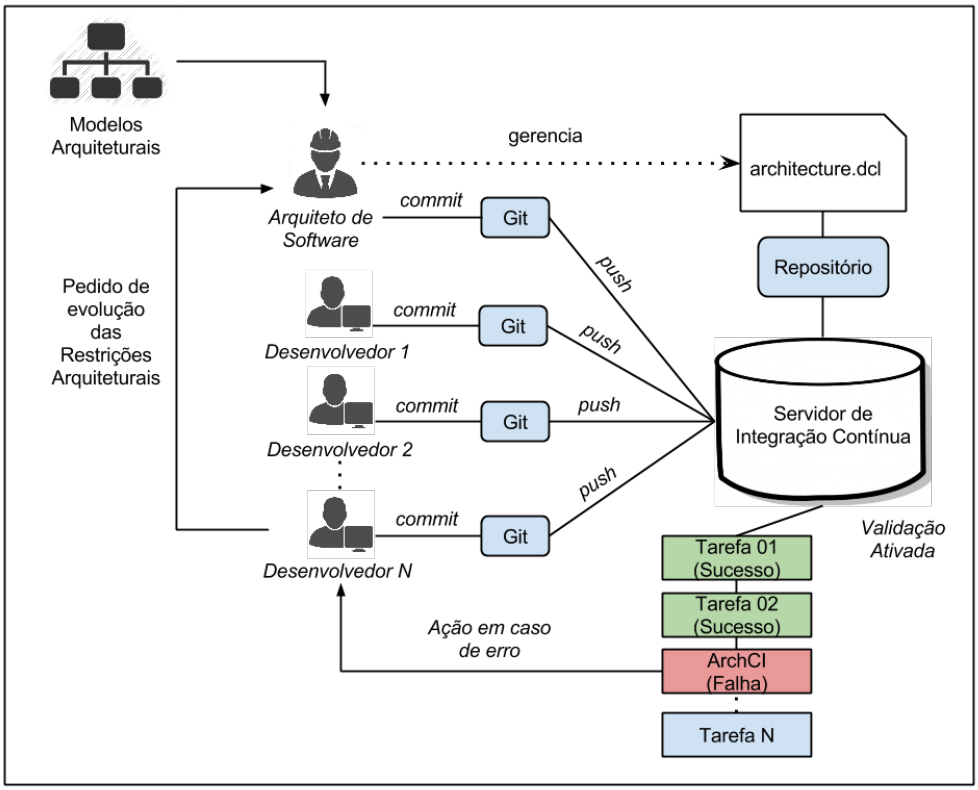


Figura 2. Funcionamento do ArchCI

O arquiteto de software é responsável por especificar as restrições arquiteturais do sistema a partir dos modelos arquiteturais existentes. Dessa forma, torna-se possível a realização do processo de conformidade arquitetural, onde o mesmo é ativado a cada integração de código. Durante a verificação arquitetural, caso a arquitetura implementada

esteja convergente com a arquitetura planejada, será permitida, automaticamente, sua integração ao repositório remoto. Entretanto, caso violações sejam detectadas, um alerta será emitido ao desenvolvedor responsável pela violação, assim como um alerta para o arquiteto ou para o gerente do projeto para que tomem ações corretivas. Nesse caso, o desenvolvedor poderá corrigir a violação em uma próxima integração ou poderá notificar o arquiteto de software da necessidade de uma evolução arquitetural, em que será realizada as devidas modificações no conjunto de restrições arquiteturais

É importante observar que a integração da solução proposta em processos reais de desenvolvimento de software contribuirá diretamente com a qualidade arquitetural do sistema de software, uma vez que a arquitetura implementada (como implementada no código fonte) estará em maior conformidade com a arquitetura planejada.

Dentre as principais características da ferramenta proposta, pode-se citar:

Verificação Arquitetural: Durante uma integração, a tarefa de verificação arquitetural presente no servidor Jenkins é ativada e realizada por intermédio do Gerrit em seu *branch* específico para revisão. Quando ferramenta proposta não detectar violações, o código é automaticamente unificado (*merge*) ao *branch* principal. No entanto, caso violações sejam detectadas, a integração ficará pendente de aprovação e a ferramenta proposta realizará, por meio de *hooks*, a ação configurada em caso de violação.

Ações: É possível (i) bloquear ou (ii) permitir a integração de código. No último caso, um *hook* do Gerrit ativará uma tarefa do Jenkins que enviará automaticamente alertas diários por e-mail ao desenvolvedor. Considerando que débitos técnicos são inevitáveis, por prazo e cobranças, cabe ao encarregado do projeto decidir qual ação corretiva é a mais adequada no projeto.

Atomicidade: Somente as integrações que estejam em total acordo com as restrições de dependência estabelecidas são aceitas automaticamente pelo servidor, sendo, assim, é preciso a aprovação de alterações que estejam em desacordo ou parcial acordo, mesmo que as mesmas sejam uma série de integrações realizadas ao servidor local (*commits*) antes da requisição de integração ao servidor remoto (*push*).

Verificação Incremental: ArchCI verifica somente as classes que sofreram alterações desde a última integração de forma a assegurar o bom desempenho da ferramenta.

Evolução da Arquitetura: A verificação arquitetural considera a especificação DCL armazenada no repositório (`architecture.dcl`). Assim, é possível realizar, por intermédio de uma integração, a atualização do arquivo contendo as restrições arquiteturais no repositório remoto. Ainda que violações não sejam detectadas, será preciso a aprovação do arquiteto do projeto para a unificação (*merge*) da integração no Gerrit, garantindo assim, a segurança e integridade da arquitetura planejada.

Uso local: ArchCI realiza a verificação de conformidade apenas no momento de integração de código. No entanto, para assegurar um menor número de violações em tentativas de integrações ao repositório, a ferramenta `dclcheck` [19] – um *plug-in* para a IDE Eclipse com a mesma finalidade – pode ser utilizada localmente.

4. Ferramenta ArchCI

Conforme ilustrado na Figura 3, a implementação de ArchCI segue uma arquitetura com cinco módulos principais:

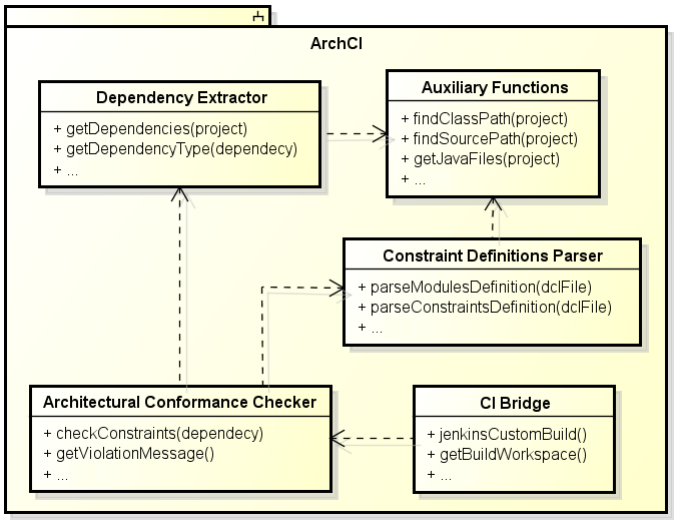


Figura 3. Arquitetura do ArchCI

Dependency Extractor: Módulo responsável pela obtenção das dependências de um projeto, assim como a manipulação das mesmas. Apresenta funções que analisam cada elemento das classes a serem validadas, analisando o tipo de dependência ao qual o determinado elemento se refere. Para sua implementação, foi realizada uma adaptação ao código da ferramenta *dclcheck* [19], um *plug-in* para a IDE Eclipse com mesma finalidade de garantir a conformidade arquitetural em um projeto de software. Desse modo, tornou-se necessário remover todas as dependências e partes de código que eram inteiramente exclusivos da IDE Eclipse, permanecendo apenas dependências às bibliotecas de manipulação de AST (*Abstract Syntax Tree*) fornecidas pelo Eclipse JDT (*Java Development Tools*), que foram adicionadas ao projeto por meio de arquivos Java no formato JAR externos. Todas as dependências ao Java Model, conjunto de classes que representam um projeto internamente na IDE Eclipse, tiveram de ser totalmente descartadas e, sendo assim, praticamente toda manipulação das classes a serem verificadas teve de ser reescrita. Cada classe teve de ser carregada externamente, transformada em uma unidade de compilação e, subsequentemente, o ambiente para o mesmo teve de ser definido informando todo o caminho e estrutura do projeto, bem como as bibliotecas necessárias para a compilar o projeto. Por fim, foram utilizados métodos e funções da classe AST para que cada elemento pudesse ser compreendido e assim, determinadas as dependências do projeto.

Constraint Definitions Parser: Módulo encarregado da análise e decomposição do arquivo contendo os módulos do projeto e as restrições de dependência estabelecidas para a arquitetura do sistema. Ao carregar o arquivo DCL presente no projeto a ser validado, esse módulo desempenha a função de interpretar o nome de cada módulo definido, assim como as restrições estipuladas e posteriormente armazená-los separadamente em um conjunto de módulos e um conjunto de restrições.

Architectural Conformance Checker: Módulo envolvendo funções para garantir a conformidade arquitetural do projeto por meio da verificação e validação de desvios arquiteturais com base nas restrições de dependência previamente estabelecidas. Após obter o conjunto de dependências de cada classe a ser validada por meio do módulo *Dependency Extractor*, bem como o conjunto de restrições e módulos através do módulo *Constraint Definitions Parser*, cada dependência é comparada às restrições estipuladas a fim de se encontrar violações na arquitetura do código fonte.

Auxiliary Functions: Módulo responsável por fornecer funções que auxiliem as tarefas do ArchCI de modo geral, por exemplo, de localização do caminho das bibliotecas e dos arquivos necessários para a resolução das dependências.

CI Bridge: Módulo contendo as funções relacionadas às práticas de CI, assim como funções necessárias para integrar o código ao servidor Jenkins. Esse, por sua vez, engloba funções para a customização do *build*, obtenção do *workspace* com o código a ser integrado, identificação das classes a serem validadas, etc. Para a construção do *build* customizado, foi necessário estruturar todo o projeto da ferramenta ArchCI como um projeto Maven, em virtude do servidor Jenkins utilizar tal estrutura para seu funcionamento e de todos os seus *plug-ins*. Em seguida, foram designadas dependências à classes da biblioteca Hudson[4], para que assim fosse possível manipular os elementos e componentes envolvidos na execução das tarefas no Jenkins. Por fim, foi criada uma classe contendo a descrição do *build*, assim como uma classe contendo métodos para a obtenção de informações fornecidas pela tarefa do servidor, utilizando-as como parâmetros para funções de outros módulos da ferramenta.

Por fim, após a conformidade arquitetural realizada durante o processo de CI, o ArchCI fornece como retorno uma mensagem de erro juntamente com as violações encontradas nas classes alteradas da integração, caso as mesmas existam. A interface da mensagem e sua representação é demonstrada na Figura 4(c), tendo como base o exemplo de restrição de dependência da Figura 4(a) e a violação da Figura 4(b).

```
module Main: project.main.*

Main cannot-depend java.lang.Math
```

(a) Exemplo de Restrição de Dependência

```
package project.main;

public class Main {
    public static void main(String[] args) {
        System.out.println(Math.pow(2, 5));
    }
}
```

(b) Exemplo de Violação

```
$ git add .
$ git commit -m "Integration Changes"
[dev a57ceb7] Integration Changes
 1 file changed, 4 insertions(+), 4 deletions(-)
$ git push

FAILURE
VIOLATION 1: 'project.main.Main' contains the method 'main' that statically invo
kes the method 'pow' of an object of 'java.lang.Math'
```

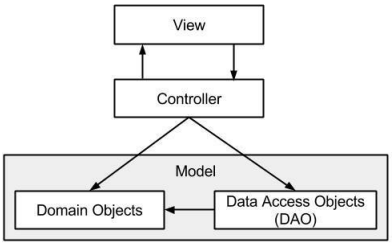
(c) Relatório após a tentativa de integração de código

Figura 4. Interface ArchCI

[4]http://javadoc.jenkins-ci.org/hudson/package-summary.html/

5. Avaliação

Sistema Alvo: `myAppointments` [13], um sistema de gerenciamento de informação pessoal simples. Apesar de ser um sistema de pequeno porte, suas restrições arquiteturais são provavelmente utilizadas em diversos projetos reais. Conforme ilustrado na Figura 5(a), o sistema segue o padrão arquitetural *Model-View-Controller* (MVC). Internamente ao componente *Model*, estão contidos *Domain Objects*, que representam entidades de domínio, e *Data Access Objects* (DAOs), que encapsulam o *framework* de persistência.



(a) Arquitetura

```
%Modulos
module Controller:    myappointments.controller.*
module View:          myappointments.view.*
module Model:         myappointments.model.**
module Domain:        myappointments.model.domain.*
module Util:          myappointments.util.*
module DB:            myappointments.model.DB
module DAO:           "myappointments.model.[a-zA-Z0-9/.]*DAO"
module JavaAwtSwing:  java.awt.**, javax.swing.**
module JavaSql:       java.sql.**

%Restricoes
only View can-depend JavaAwtSwing                          %RA1
only DAO, DB can-depend JavaSql                            %RA2
View cannot-depend Model                                   %RA3
Domain can-depend-only $java                               %RA4
DAO can-depend-only Domain, Util, javaSql                  %RA5
Util cannot-depend $system                                 %RA6
```

(b) Especificação DCL

Figura 5. Avaliação Controlada com myAppointments

Restrições: O sistema do `myAppointments` trabalha com as principais restrições de dependência envolvendo o modelo MVC. Para utilização da solução proposta, a definição das restrições arquiteturais em DCL é demonstrado na Figura 5(b). Sua implementação usa as seguintes restrições arquiteturais (RA):

(RA1) Somente a camada *View* pode depender dos componentes providos pelo *AWT/Swing*.

(RA2) Somente os DAOs da camada *Model* podem depender dos serviços de banco de dados. Uma exceção é concedida para a classe `model.DB`, responsável por controlar as conexões do banco de dados.

(RA3) A camada *View* pode depender apenas dos serviços providos por ela mesma, pela camada *Controller* e pelo pacote *Util* (por exemplo, para dissociar a apresentação dos dados do acesso aos dados, componentes do *View* não podem acessar componentes do *Model* diretamente).

(RA4) *Domain Objects* não devem depender dos módulos DAO, *Controller* e *View*.

(RA5) Classes DAO podem depender somente de *Domain Objects*, das classes *Model* autorizadas a utilizar os serviços de banco de dados (como o `model.DB`), quanto do pacote *Util*.

(RA6) O pacote *Util* não pode depender de nenhuma classe específica do código fonte do sistema.

Violações: Como `myAppointments` foi projeto e desenvolvido para ilustrar técnicas de conformidade arquitetural, sua arquitetura original não possui violações arquiteturais. No entanto, para ilustrar o funcionamento da ferramenta proposta, foram intencionalmente incorporadas seis violações arquiteturais, uma para cada restrição de arquitetural, conforme ilustrado na Figura 6.

```
package myappointments.model.domain;

import java.util.Date;
import javax.swing.JOptionPane;
import myappointments.controller.AgendaController; [...]

public class Appointment  {
    public Appointment() throws Exception{

        JOptionPane dialog;

        Date d =
           new java.sql.Date(System.currentTimeMillis());

        AgendaController ac;
    }
    [...]
```

(a) Violações RA1, RA2 e RA4

```
package myappointments.view;

import myappointments.model.AgendaDAO; [...]

public class AppointmentView extends
        AbstractAppointmentView {
    public AppointmentView
            (AppointmentController controller)
                throws Exception {
        this.controller = controller ;
        this.appForm = new AppointmentForm() ;

        Object aDAO = AgendaDAO.getInstance();

        initComponents() ;
        [...]
```

(b) Violação RA3

```
package myappointments.model;

import myappointments.view.AppointmentView; [...]

public class AgendaDAO extends AbstractAgendaDAO  {

    private static AgendaDAO agendaDAO
        = new AgendaDAO();

    private static AppointmentView av;
    [...]
```

(c) Violação RA5

```
package myappointments.util;

import myappointments.view.AppointmentView; [...]

public class DateUtils {

    public static final String HOUR_FMT = "HH:mm";
    public static final String SHORT_DATE_FMT =
        "MM/dd/yyyy";
    public static final String LONG_DATE_FMT =
        "MM/dd/yyyy HH:mm";

    private static AppointmentView av;
    [..]
```

(d) Violação RA6

Figura 6. Violações introduzidas no MyAppointments

(RA1) Um variável do tipo `javax.swing.JOptionPane` foi declarada dentro da classe `Appointment` que pertence a camada *Domain*. Isso representa uma violação na restrição (RA1) que indica que *somente a camada View pode depender dos componentes providos pelo* `AWT/Swing` (vide Figura 6(a)).

(RA2) Foi instanciado um objeto do tipo `java.sql.Date` na classe `Appointment` da camada *Domain*, violando a restrição (RA2) de que *somente os DAOs da camada Model podem depender dos serviços de banco de dados* (vide Figura 6(a)).

(RA3) O método `getInstance()` do objeto `AgendaDAO`, pertencente à camada DAO foi invocado pela classe `AppointmentView` da camada *View*, violando a restrição (RA3) de que *a camada View pode depender apenas dos serviços providos por ela mesma, pela camada Controller e pelo pacote Util* (vide Figura 6(b)).

(RA4) A classe `Appointment` da camada *Domain* instancia a variável `ac` do tipo `AgendaController` (pertencente à camada *Controller*), violando a restrição (RA4) de que *Domain Objects não devem depender dos módulos DAO, Controller e View* (vide Figura 6(a)).

(RA5) A classe `AgendaDAO` presente na camada DAO contém o campo `av` do tipo `AppointmentView` (pertencente à camada *View*), violando a restrição (RA5) de que *classes DAO podem depender somente de Domain Objects, das classes Model autorizadas a utilizar os serviços de banco de dados, quanto do pacote Util* (vide Figura 6(c)).

(RA6) Assim como na violação anterior, a classe `DateUtils` presente na camada *Util* contém o campo `av` do tipo `AppointmentView` (pertencente à camada *View*), violando a restrição (R6) de que *o pacote Util não pode depender de nenhuma classe específica do código fonte do sistema* (vide Figura 6(d)).

Resultado: Ao realizar a integração de código, a ferramenta proposta foi capaz de encontrar as seis violações, conforme ilustrado na Figura 7. Como a ferramenta, nesta avaliação, foi configurada de forma a não ser possível integrar código com violação arquitetural, ArchCI cancelou a integração (*push*) e informou as violações ao desenvolvedor.

```
$ git add .
$ git commit -m "MyAppointments Changes"
[dev 8976d37] MyAppointments Changes
 23 files changed, 2189 insertions(+), 39 deletions(-)
$ git push

FAILURE
VIOLATION 1: 'myappointments.model.domain.Appointment' contains the local variable 'dialog' i
n method 'Appointment' whose type is 'javax.swing.JOptionPane'
VIOLATION 2: 'myappointments.model.domain.Appointment' contains the method 'Appointment' that
 creates an object of 'java.sql.Date'
VIOLATION 3: 'myappointments.model.domain.Appointment' contains the local variable 'ac' in me
thod 'Appointment' whose type is 'myappointments.controller.AgendaController'
VIOLATION 4: 'myappointments.view.AppointmentView' contains the method 'AppointmentView' that
 statically invokes the method 'getInstance' of an object of 'myappointments.model.AgendaDAO'
VIOLATION 5: 'myappointments.model.AgendaDAO' contains the field 'av' whose type is 'myappoin
tments.view.AppointmentView'
VIOLATION 6: 'myappointments.util.DateUtils' contains the field 'av' whose type is 'myappoint
ments.view.AppointmentView'
```

Figura 7. Violações detectadas pelo ArchCI no MyAppointments

Limitações: A avaliação foi realizada em um ambiente controlado – um sistema de pequeno porte, um único desenvolvedor, poucas integrações de código e um pequeno conjunto de violações. Entretanto, o objetivo da avaliação de se verificar a aplicabilidade da solução proposta foi atingido ao se demonstrar que é sim possível integrar um processo de conformidade arquitetural em CI.

6. Conclusão

É de suma importância para a engenharia de software assegurar uma maior conformidade arquitetural em um sistema, principalmente no desenvolvimento de software em conjunto, onde problemas como a erosão arquitetural tornam-se mais comuns, causando a anulação de características como manutenibilidade, reusabilidade, escalabilidade, portabilidade, etc.

Este artigo apresenta uma solução para a verificação da conformidade arquitetural de um projeto de software – com base em restrições arquiteturais entre módulos – incorporadas em um servidor de CI. Como principal contribuição, a solução proposta evita os problemas decorrentes de um processo de erosão arquitetural através de um processo de

conformidade arquitetural mais rígido, e.g., integrações de código só ocorrem quando não foram detectadas violações arquiteturais.

Como trabalho futuro, pretende-se: (i) aplicar a solução proposta em cenários reais de desenvolvimento a fim de avaliar sua expressividade, aplicabilidade e desempenho; (ii) avaliar as características mais importantes para aceitação dos desenvolvedores, e.g., exibição de *warnings* ou bloqueio de integração de código; (iii) extrair restrições de dependência, convertendo-as em linguagem DCL, de modo a realizar a verificação de conformidade arquitetural a partir de modelos arquiteturais em outros formatos, e.g., UML; (iv) definir grau de severidade para cada restrição de forma a configurar ações pelo grau de severidade, e.g., bloquear a integração caso viole restrição arquitetural que afete segurança, emitir alerta caso a violação afete superficialmente o desempenho, etc.; (v) analisar como fatores humanos influenciam as violações para propor novas funcionalidades; e (vi) realizar melhorias na implementação da ferramenta.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela FAPEMIG, CAPES e CNPq.

Referências

[1] Jonathan Aldrich, Craig Chambers, and David Notkin. ArchJava: Connecting software architecture to implementation. In *24th International Conference on Software Engineering (ICSE)*, pages 187–197, 2002.

[2] Brian De Alwis and Jonathan Sillito. Why are software projects moving from centralized to decentralized version control systems? In *2nd Cooperative and Human Aspects on Software Engineering (CHASE)*, pages 36–39, 2009.

[3] Alan Berg. *Jenkins Continuous Integration Cookbook*. Packt Publishing, Birmingham, 2012.

[4] Jon Bowyer and Janet Hughes. Assessing undergraduate experience of continuous integration and test-driven development. In *28th International Conference on Software Engineering (ICSE)*, pages 691–694, 2006.

[5] João Brunet, Dalton Serey, and Jorge Figueiredo. Structural conformance checking with design tests: An evaluation of usability and scalability. In *27th International Conference on Software Maintenance (ICSM)*, pages 143–152, 2011.

[6] Lakshitha de Silva and Dharini Balasubramaniam. Controlling software architecture erosion: A survey. *Journal of Systems and Software*, 85(1):132–151, 2012.

[7] Paul M. Duvall, Steve Matyas, and Andrew Glover. *Continuous Integration: Improving Software Quality and Reducing Risk*. Pearson Education, Boston, 2007.

[8] Martin Fowler and Matthew Foemmel. Continuous integration. Technical report, Thought-Works, 2006.

[9] Konrad Hinsen, Konstantin Läufer, and George K. Thiruvathukal. Essential tools: Version control systems. *Computing in Science & Engineering*, 11(6):84–91, 2009.

[10] G. Murphy, D. Notkin, and K. Sullivan. Software reflexion models: Bridging the gap between source and high-level models. In *3rd Symposium on Foundations of Software Engineering (FSE)*, pages 18–28, 1995.

[11] Oscar Nierstrasz and Mircea Lungu. Agile software assessment. In *20th International Conference on Program Comprehension (ICPC)*, pages 3–10, 2012.

[12] Bryan O'Sullivan. Making sense of revision-control systems. *Queue*, 7(7):30–40, 2009.

[13] Leonardo Passos, Ricardo Terra, Renato Diniz, Marco Tulio Valente, and Nabor Mendonça. Static architecture conformance checking: An illustrative overview. *IEEE Software*, 27(5):132–151, 2010.

[14] D. E. Perry and A. L. Wolf. Foundations for the study of software architecture. *Software Engineering Notes*, 17(4):40–52, 1992.

[15] Neeraj Sangal, Ev Jordan, Vineet Sinha, and Daniel Jackson. Using dependency models to manage complex software architecture. In *20th Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications (OOPSLA)*, pages 167–176, 2005.

[16] John Ferguson Smart. *Jenkins: The Definitive Guide*. O'Reilly Media, Inc, Sebastopol, 2011.

[17] Diomidis Spinellis. Version control, part 1. *IEEE Software*, 22(5):107–107, 2005.

[18] Diomidis Spinellis. Version control, part 2. *IEEE Software*, 22(6):c3–c3, 2005.

[19] Ricardo Terra and Marco Tulio Valente. A dependency constraint language to manage object-oriented software architectures. *Software: Practice and Experience*, 39(12):1073–1094, 2009.

[20] Ricardo Terra and Marco Tulio Valente. Definição de padrões arquiteturais e seu impacto em atividades de manutenção de software. In *VII Workshop de Manutencao de Software Moderna (WMSWM)*, pages 1–8, 2010.

[21] Mathieu Verbaere, Michael W. Godfrey, and Tudor Gîrba. Query technologies and applications for program comprehension. In *16th IEEE International Conference on Program Comprehension*, pages 285–288, 2008.