Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería Informática

Un lenguaje para realizar DSLs

A language to make DSLs

Eleazar Díaz Delgado

La Laguna, 4 de Septiembre de 2018

D. Casiano Rodríguez León, con N.I.F. 42.020.072-S profesor Titular de Universidad adscrito al Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas de la Universidad de La Laguna, como tutor

C E R T I F I C A (N)

Que la presente memoria titulada: “Un lenguaje para realizar DSLs"

ha sido realizada bajo su dirección por D. Eleazar Díaz Delgado con N.I.F. 54.117.199-Q.

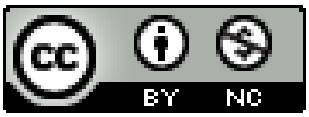
Y para que así conste, en cumplimiento de la legislación vigente y a los efectos oportunos firman la presente en La Laguna, 4 de Septiembre de 2018.

Agradecimientos

A mi familia por el apoyo,
y en especial a mi madre por preguntarme
casi todos los días por el estado del TFG.

También dar la gracias a los profesores
a lo largo de este grado y en especial a Casiano.

Licencia



Resumen

ScriptFlow es un lenguaje de tipado dinámico para el desarrollo de scripts para la automatización de tareas, que requieran configuraciones. Se trata de un lenguaje basado en expresiones que da la opción a ser sensible a la indentación. Incluye una integración con Haskell por el cual puede ser ampliable.

Palabras clave: ScriptFlow, Intérprete, Compilador, Haskell, DSL.

Abstract

ScriptFlow is a dynamic typed language to develop scripts to automatize a sets of task, whose of these requires use of configuration files. It is a language based in expressions that allows to you to use identation-sensitive syntax. It is includes a integration with Haskell language, which, it was built in.

Keywords: ScriptFlow, Interpreter, Compiler, Haskell, DSL.

Índice general

1 Introducción **7**

2 Metodología **7**

3 Lenguaje ScriptFlow **7**
3.1 Sintáxis 7
3.1.1 Identación 8
3.1.2 Literales 8
3.1.3 Expressiones 10
3.1.4 Funciones 11
3.2 Orientado a objetos 11
3.2.1 Objectos 11
3.2.2 Clases 13

4 Configuración **14**
4.1 Prompt 14

5 REPL **14**

6 Arquitectura del proyecto **15**
6.1 Introducción 15
6.2 Árbol abstracto sintáctico 17
6.3 Lenguaje intermedio 17
6.4 Interoperabilidad 18

7 Conclusiones **20**

8 Conclusions **20**

9 Presupuesto **21**

1 Introducción

ScriptFlow es un lenguaje de programación interpretado pensado para la creación de lenguajes de dominios específicos. El objetivo del lenguaje es combinar ficheros de configuración, con características del lenguaje y las APIs. Con el fin de realizar los lenguajes de dominio específico, que permitan resolver tareas y posteriormente automatizarlas en la medida de lo posible. Estos DSL, estan planteados para trabajar mediante via textual o terminal. Es decir, no está pensado para realizar una interfaz gráfica que permita automatizar problemas sino mediante scripts y un REPL customizable según el DSL usado.

2 Metodología

Se usado el lenguaje de programación Haskell, debido a su capacidad para trabajar con ADT, y estructuras abstractas. Permite gestionar el código mejor que la representación equivalente usando objetos, en un lenguaje POO. Junto con la infraestructura *Stack-Haskell* para gestionar las dependencias debido a su estabilidad.

La parte de análisis sintáctico y léxico. Se optó por usar dos fases para la generación del AST debido a la simplificación del problema de la indentación. Se tokeniza con la librería *Alex* y se parsea con *parsec*. Añadido a esto se usan librerías para gestionar el REPL (Haskeline) o internamente estructuras de datos como pueden ser (mtl, transformers, free, prettyprinters, ...) entre otras.

En las configuraciones se usa el formato Yaml por permitir crear configuraciones más complejas que el equivalente en JSON.

Para realizar el proyecto se usan las herramientas VsCode y Neovim para el desarrollo del software usando diversos plugin de entre ellos LSP (Language Server Protocol).

Los recursos son obtenidos de la propia documentación de las librerías, como información adicional que se encuentra en Internet.

3 Lenguaje ScriptFlow

3.1 Sintáxis

ScriptFlow se ha diseñado para ser sencillo de usar, para ello se optado por una sintaxis familiar a lenguajes como *python* o *c++*.

Los comentarios se comienzan con # y el retorno de línea delimita su fin. Estos pueden ser añadidos al final de una expresión y no están sujetos a las reglas de indentación lo que permite cierta flexibilidad.

```
# Variable ejemplo
   # Comentario
example = 1 + 1 # Commentario

if example == 2:
# Otro ejemplo
  print "something"
```

3.1.1 Identación

El lenguaje puede usar su sintáxis sensible a la indentación como *python* o *haskell* pero se trata de algo opcional que puede ser omitido usando las llaves "{}":

```
fun saludar_a nombre:
  print("Saludos, " ++ nombre)
```

O la sintáxis equivalente al estilo de la familia de C:

```
fun saludar_a nombre {
  print("Saludos, " ++ nombre)
}
```

3.1.2 Literales

El lenguaje cuenta con diversas primitivas integradas por defecto, como booleanos, enteros, decimales, cadenas, expresiones regulares, comandos shell.

```
# none
none

# Booleanos
true
false

# Enteros
```

```
12 + 4 # ...

# Decimales (Se utiliza un double para su
# representanción actualmente)
45.5

# Las cadenas pueden ser multilineas se crean con
# comillas dobles "
"Un\nejemplo
de cadena"

# Las regex se construyen
# con r" y terminan con ".
# Usan la sintaxis de PCRE.
r"a*"

# Los comandos shell se crean con
$cd #HOME/repos; nvim .$
Ó mutltilinea
$
cd #HOME/repos
nvim .
$

O la sintaxis alternativa
$"pwd"
```

A su vez también existen tipos contenedores tales como los vectores y los diccionarios o tablas hash.

```
# Vectores
# Los vectores pueden contener diferentes tipos en el mismo vector
[45, "tipos", []]

# Diccionarios
{ test -> [1,2,3,47,5]
  , author ->
  { name -> "Flynn"
  , "vive en" -> "tal sitio"
  }
```

```
}
```

3.1.3 Expressiones

El lenguaje esta compuesto por expresiones, es decir, todas las estructuras devuelven algún valor. Estas expresiones, se encuentran delimitadas de forma diferente según en que contexto se encuentren. Las expresiones en la base del archivo, tales como;

```
print "Hello World"

var = 67

func_call
   first_param
   second_param
```

Son delimitadas por el final de linea, o en el caso de exista cierto nivel de indentación mayor que el base '0' se agrupan con la primera sin indentación. Es decir, en el caso de `func_call` la expresión final sería `func_call(first_param, second_param)`. Se puede usar el carácter ';' para realizar esta separación (el cual es opcional al nivel base).

En el caso de expresiones más complejas que requieran un subconjunto de expresiones, hablamos de `if`, `for` .... Se contemplan dos casos para realizar la terminación de las expresiones. Si se usa sintáxis sensible a la indentación, los niveles de indentación determinarán donde se halla la terminación de las expressiones. Pero, por si el contrario se usa sintáxis con llaves se necesitará añadir ';' para indicar la terminación de cada expressión. Y opcionalmente se puede quitar el ';' de la última expressión.

```
if always_true:
  make_test test1 test2
  other_func
     arg1
     arg2
  end_test arg_end

if always_true {
  make_test test1 test2;
  other_func
```

```
    arg1
    arg2;
  end_test arg_end
}
```

3.1.4 Funciones

La sintáxis permite definir dos tipos de funciones, aquellas que tienen un nombre y las lambda. Internamente solo hay lambdas debido a que la primeras son traducidas a una función lambda asignada a una variable.

La sintáxis de las funciones lambda es la siguiente:

```
# Con identación
lam arg1 arg2:
   arg1

# O alternativamente
lam arg1 arg2 { arg1 }
```

Las funciones con nombre, en el siguiente ejemplo;

```
fun func_name arg1 arg2 { arg1 }

fun func_name arg1 arg2:
   arg1
```

3.2 Orientado a objetos

3.2.1 Objectos

Un objeto en ScriptFlow es un diccionario con la clase a la que pertenece, en el caso de ser un objeto instanciado.

En el siguiente ejemplo se enumeran las distintas formas de crear un objeto:

```
# A partir de un diccionario vacío
obj = {}

# A partir de none
obj2 = none
# Al asignar dentro de una varible establecidad ‘none‘ un "sub-item".
# Automáticamente se genera un objeto con ese ítem dentro
```

```
obj2.a = "ejemplo"
> { a -> "ejemplo" }

# A partir de una clase definida
class Test {}
# El constructor devolverá la instancia correspondiente
obj3 = Test()
```

Los objetos tienen diversas características incorporadas con el intérprete para mejorar su uso dentro de una DSL.

Las funciones `use` y `unuse` permiten modificar el ámbito actual de búsqueda de variables, y simplificar ciertos escenarios.

La función `use` genera un nuevo ámbito que queda detrás del actual permitiendo acceder a los attributos y funciones directamente sin necesidad de especificar a que objecto se refiere. Las nuevas variables creadas dentro del ámbito sobreescriben las creadas por `use` debido a que continuán en un ámbito superior. La resolución de nombres al usar `use` sobre un objeto, tiene la menor precedencia dentro de la propia resolución del nombres, y la última llamada de `use` tiene mayor precedencia que las anteriores de `use`.

La función `unuse` deshace el último `use` usado. Se tiene planeado en futuras versiones realizar automaticamente un `unuse` al salir de un ámbito.

Un ejemplo ilustrativo de como trabaja esta funcionalidad dentro de un DSL.

```
class Github:
  fun repositories {} # return a list of repositories
  fun user_name {}
class Repository:
  fun name {}
  fun issues {}

gh = use Github()
filter_reg = Regex gh.user_name
for repo in repositories:
  use repo
  print name
  print issues.filter(filter_reg)
  unuse
unuse
```

3.2.2 Clases

El lenguaje tiene un básico soporte a la programación orientada a objetos. Permite la definición de clases sin la capacidad de herencia. El siguiente ejemplo sobrecarga el constructor de la clase, usando el método especial `__init__`.

Los métodos asociados al objeto internamente se pasan a si mismo como argumento, usando la palabra reservada `self`. El lenguaje no soporta métodos estáticos.

```
class Repository {
        fun __init__ new_name {
            self.url = none
            self.local_repo = none
            self.name = new_name
        }
}
```

La siguiente tabla muestra los métodos disponibles para sobrecargar.

Operador	Nivel de precedencia	Precedencia	Nombre método
**	8	Izquierda	`__pow__`
*	7	Izquierda	`__mul__`
/	7	Izquierda	`__div__`
%	7	Izquierda	`__mod__`
+	6	Izquierda	`__plus__`
-	6	Izquierda	`__minus__`
++	5	Derecha	`__append__`
==	4	Izquierda	`__eq__`
!=	4	Izquierda	`__neq__`
/=	4	Izquierda	`__neq__`
>	4	Izquierda	`__gt__`
<	4	Izquierda	`__lt__`
<=	4	Izquierda	`__le__`
>=	4	Izquierda	`__ge__`
&&	3	Derecha	`__and__`
||	3	Derecha	`__or__`
!	1	Izquierda	`__not__`
@	1	Izquierda	`__at__`
print	-	–	`__print__`

El método especial `__print__` indica la forma visualización, que debe mostrarse por pantalla el objecto al usar la función `print`.

4 Configuración

El fichero de configuración se localiza mediante el estándar XDG. Normalmente localizado en `/home/username/.config/scriptflow` La configuración es un fichero tipo YAML. El cual permite especificar parámetros de configuración, tales como el prompt, shell. O parametros específicos con la API Web; tales como la autenticación o posibles preferencias.

4.1 Prompt

En el modo interactivo del intérprete (repl) permite la personalización del **prompt**. Tales como la salida de la ejecución de comandos shell, y diversos comandos propios del intérprete. La configuración del prompt se puede realizar desde el fichero de configuración (véase: 4) en la sección **repl**.

Por defecto, la sección del *prompt* contiene la siguiente configuración:

```
repl:
  # ...
  prompt: |
     $"pwd".exec().strip() ++ " >>> "
  # ...
```

La configuración del prompt debe ser una expresión de ScriptFlow.

5 REPL

El **REPL** puede ser accedido mediante comando de líneas `scriptflow`, o con la finalización de ejecución de un **script** con la opción `-e`. Se pueden ver más opciones del ejecutable del intérprete mediante `scriptflow --help`. Una vez, iniciado el **REPL** se mostrará por defecto el **prompt** predeterminado (Configuración véase: 4.1).

Desde el **REPL** se puede escribir cualquier tipo de expresión definida por el lenguaje. Y los comandos del intérprete los cuales comienzan por ":". Se puede ver una lista de los comandos con `:help`

- `:instr`

  Permite visualizar, a que instrucciones se traduce el código. Estas instrucciones son parciales solo sirven de guía. (Véase: 6.3)

- `:mem`

  Muestra parcialmente las variables disponibles en memoria.

- `:quit`

  Sale del intérprete.

6 Arquitectura del proyecto

6.1 Introducción

El lenguaje se ha realizado usando un lenguaje puramente funcional lo que requiere diferentes enfoques al realizar el diseño del interprete. Ya que no posée una interfaz orientada a objetos. Dada esta diferencia voy a detallar en cierta medida peculiaridades del desarrollo, en las siguientes secciones. Antes de ello empezaremos con un pequeño análisis de como funciona el intérprete.

Dado un fichero de entrada con el código escrito en ScriptFlow.

```
fun say_hi name:
  "Hola, " ++ name

say_hi("Mundo")
```

Se procede al *parseo* del código, el cual, se realiza a dos fases. La primera el *tokenizador*, se encarga de transformar, el texto en de entrada, en una secuencia de *tokens*. Estos tokens representan los elementos importantes que se usarán para generar el AST (Abstract Syntax Tree). Cada *token* contiene la información necesaria para reconstruir la parte esencial del código.

```
[FunT, NameIdT "say_hi", NameIdT "name", OBraceT,
      LitTextT "Hola, ", OperatorT "++", NameIdT "name",
CBraceT,
NameIdT "say_hi",OParenT,LitTextT "Mundo",CParenT]
```

En esta fase de *tokenización*, se procede a identificar los niveles de indentación en el código en el caso necesario (Para más información ir: 3.1.1). El *tokenizador* procede a añadir las llaves necesarias en el caso de usar la gramática del lenguage sensible al contexto. Estos *tokens* se identifican con `OBraceT` y `CBraceT`.

La segunda fase del *parseo* se encarga de generar el árbol sintáctico abstracto (AST).

```
SeqExpr [
      VarDecl (Simple "say_hi")
                (FunDecl ["name"]
                    (SeqExpr
                      [Apply (Simple "++")
                          [Factor (AStr "Hola, "),
                          Identifier (Simple "name")]
                      ]
                    )
                  )
      ,
      Apply (Simple "say_hi")
            [SeqExpr [Factor (AStr "Mundo")]]
]
```

La salida del AST está simplificada en este ejemplo, se puede ver una salida más detallada, añadiendo una mayor verbosidad `scriptflow -v` (Ver `scriptflow --help` para más información).

Este proceso se realiza mediante un *parser combinador*, el cual se comporta de forma parecida a los PEGs. Un ejemplo simplificado es la defínción de una función:

```
parseFunDecl :: TokenParser Expression
parseFunDecl = do
  funT
  funName <- nameIdT
  params  <- many nameIdT
  prog    <- parseBody
  return (FunDecl funcName params prog)
```

Una vez generado se realiza la comprobación del **scope** del AST. En esta fase comprueban si están usando variables que no existen, o si sobreescriben otra. Y se procede al renombrado de las variables.

```
SeqExpr [
      VarDecl var_0        -- say_hi
                 (FunDecl [param_0] -- name
                    (SeqExpr
                       [Apply op_0   -- "++"
                          [Factor (AStr "Hola, "),
```

```
                            Identifier param_0]
                        ]
                    )
                )
    ,
    Apply var_0     -- say_hi
          [SeqExpr [Factor (AStr "Mundo")]]
]
```

Una de la últimas fases es la conversion del AST al conjunto de instrucciones simplificado. (Vease: 6.3)

```
Assign var_0
    OFunc [param_0]
          CallCommand op_0 ["Hola, ", GetVal param_0]

CallCommand var_0 ["Mundo"]
```

Y de esta foma es como se representa el código en memoria. Es decir, las funciones que se definan su contenido es guardado en este formato.

6.2 Árbol abstracto sintáctico

El AST (Abstract Syntax Tree) de ScriptFlow ha pasado por diversos cambios en el transcurso del proyecto. Inicialmente se considero usar el modelo conceptual que se aplica en el paquete "language-haskell-ext" el cual codifica el AST de forma genérica para que en cada nodo se encuentre el componente genérico. Este componente, se fija en el AST a lo largo de todos los nodos lo que que conlleva a crear un componente complejo e innecesario en la mayoría de los nodos. Se crea un AST poco flexible.

La solución a este problema se encontró dentro de los *papers* que estan siendo implementados en el propio *GHC*. En el *paper* [1] se decribe como se logra una estructura de datos maś flexible que la convencional. Que por medio de los tipos de familia abiertos (Open Family types) se logra modificar individualmente el tipo de dato complementario en cada nodo del AST según que fase del compilador se encuentre.

6.3 Lenguaje intermedio

La última fase es la conversión del AST (Abstract Syntax Tree) en conjunto de instrucciones que se usarán, para describir las secuencia de acciones. Para

llevar acabo la ejecución de un script de ScriptFlow Este conjunto de instrucciones se encuentra expresado en un ADT (Abstract Data Tree), de tal forma que encaje con la estructura de datos mónada libre (*Free Monad*) [2]. Este estructura, secuencia las instrucciones y permiten usar la notación *do* de Haskell.

6.4 Interoperabilidad

La metaprogramación ha supuesto una simplificación en la comunicación entre lenguaje padre e hijo. Con el fin de reutilizar las funciones ya testeadas de Haskell, en ScriptFlow. Únicamente realizando cambios oportunos, como el orden de los argumentos.

El desarrollo de esta característica se basa en la definición de un isomorfismo entre los tipos de datos de haskell y los de ScriptFlow. este isomorfismo se encuentra en las clases de tipo `FromObject` y `ToObject`.

Apesar de este isomorfismo, existe una dificultad añadida debido a que las funciones en Haskell son currificadas. Por ejemplo dada la siguiente función `f` que recibe dos parametros y retorna un `Bool`.

```
f :: Int -> Int -> Bool
```

Se debe eliminar esta currificación, para que el tipo concuerde con algo más uniforme.

```
f :: [Int] -> Bool
```

La primera solución, que resuelve el problema, se hizo mediante clases de tipos.

```
class Normalize a
   normalize :: a -> [Object] -> Object

instance ToObject a => Normalize a where
   normalize = -- implementación omitida

instance (ToObject a, Normalize r) => Normalize (a -> r) where
   normalize = -- implementación omitida
```

Las cuales mediante el uso de la recursividad entre instancias de las clases de tipos se resolvía el problema. Sin embargo el método no es eficiente. Y requiere de una clase auxiliar para contar el número de argumentos que posée una función, la cual use sobrelapamiento entre instancias [3].

La opción actual reside crear los *wrappers* a medida para cada función convertida. Para ello se implementado una solución basada en el uso de la meta-programación conocida en Haskell por *Template Haskell* [4] .

Ejemplo de código auto-generado, dada la función:

```
(>) :: Int -> Int -> Bool
(>) = -- implementación omitida
```

La salida obtenida es:

```
greaterThan :: [Object] -> StWorld Object
greaterThan objs =
  let expectedArgs = 2
      givenArgs    = length objs
  case compare givenArgs expectedArgs of
    LT -> throw $ NumArgsMissmatch expectedArgs givenArgs
    GT -> throw $ NumArgsMissmatch expectedArgs givenArgs
    EQ -> do
      let [arg1, arg2] = objs
      val1 <- fromObject arg1
      val2 <- fromObject arg2
      toObject ((>) val1 val2)
```

Una de las desventajas de esta solución se encuentra en las propias limitaciones del *Template Haskell*. Debido a que no es posible inferir el tipo de una expresión dada, lo que requiere añadir el tipo de la expressión.

```
$(normalize [| (>) :: Int -> Int -> Bool |])
            -- Se repite el tipo obligatoriamente
```

La implementación de la "meta-función" se encuentra en el módulo *Compiler.Prelude.Th*.

Otro factor de interoperabilidad a destacar, es la creación de un *QuasiQuoter* [5]. Lo que permite incrustar fragmentos de ScriptFlow dentro de Haskell. Y dentro del propio *QuasiQuoter* realizar llamadas a funciones de Haskell usando el mecanismo anteriormente descrito para la conversión de funciones entre ambos lenguajes.

```
requestLogin :: String -> String -> IO ()
requestLogin = -- se omite implementación

githubClassSC :: Interpreter Object
```

```
githubClassSC = [scriptflow|
    # Github base class
    class Github:
        fun login:
          print "Logging to get authorization token to use in future connections"
          username = get_line "User Name: "
          password = ask_password "*" "Password: "
          __call__ ${requestLogin} username password
  |]
```

7 Conclusiones

ScriptFlow trata de simplificar el proceso de crear script de automatización, proveeyendo una interfaz unificada entre ficheros configuración, funciones de interacción con APIs y característcas propias del lenguaje.

Existen diversos problemas y dificultades en el desarrollo de software dentro de la plataforma de Haskell, debido a ser un lenguaje con una comunidad menor a lenguajes más populares. Se encuentran escasas herramientas de programación o poco actualizadas a las últimas versiones de la plataforma. Cabe a destacar que la mayor dificultad encontrada es trabajar con dependencias cíclicas entre módulos en Haskell. Es cierto, que existen soluciones pero no son prácticas para un desarrollo ágil.

Existen diversas mejoras a aplicar sobre el proyecto:

- Actualmente es solo extensible via Haskell (lo que requiere tener el compilador), una mejora sería permitir interoperabilidad con Python.
- Los objectos básicos, contienen pocos métodos con los que interactuar entre sí.
- Para el DSL de Github, se tiene planteado realizar un uso de HFuse. Para simular virtualmente los repositorios de Github en el sistema de ficheros y con determinadas acciones clonar directamente repositorio, por ejemplo.

8 Conclusions

ScriptFlow try to simplifies the process of make scripts to automatize, providing with a unified interface between; configuration files, functions that interact with external APIs and characteristics of the own language.

There are several problems and difficulties developing software into the Haskell platform, due to be a language with smaller community than other popular languages. There are less programming tools or they are not update to latest versions of platform. I highlight, the greater problem found into this project was cyclic-dependencies between modules in Haskell. It can be solved but there are not optimal solutions to an agile development.

Exist different improvements to apply over this project:

- Currently, it can be only extended using Haskell (It requires to have a Haskell compiler), it could improve if it allows to inter-operate with Python.
- The basic objects, contains few methods to be used between themselves.
- In the case of Github's DSL, its planed to use HFuse library. For example; to simulate Github repositories virtuality into file system and with specific actions clone this repositories.

9 Presupuesto

En esta sección se indican los costes totales de la realización del proyecto. No existen costes de licencia tanto en las propias dependencias del proyecto, las cuales son BSD3 compatibles. Como el software empleado en el mismo proyecto, debido al uso de software libre, desde el SO hasta los IDE usados.

En cuanto al coste material, se ha realizado un estimación del equipo necesario para realizar el proyecto y diversas necesidades básicas. Estas necesidades engloban el coste de alquiler de una oficina, consumo eléctrico, coste de acceso a internet.

El desarrollo está definido a 4 meses. Aquellos valores, los cuales la factura sea mensual, se indicará el coste total de los meses usados.

Tipo	Descripción
Equipo de Desarrollo*	400€ - 600€
Alquiler Oficina - 4 meses	800€ - 1000€
ADSL - 4 meses	100€ - 120€
Electricidad	120€ - 200€
Programación del software - 4 meses**	5760€
Total	7180€ - 7680€

*Comprende el hardware usado, periféricos y torre.

**El desarrollo del software, se ha estimado el coste a la hora en España 12€.

Bibliografía

[1] Shayan Najd. Simon Peyton Jones. Trees that grow. *Journal of Universal Computer Science, vol. 23, no. 1*, 2017.

[2] Gabriel Gonzalez. Why free monads matter. `http://www.haskellforall.com/2012/06/you-could-have-invented-free-monads.html`. Accessed: 2018-09-02.

[3] GHC User's Guide Documentation, Overlapping Instances. `https://downloads.haskell.org/~ghc/latest/docs/html/users_guide/glasgow_exts.html#overlapping-instances`. Accessed: 2018-09-02.

[4] GHC User's Guide Documentation, Template Haskell. `https://downloads.haskell.org/~ghc/latest/docs/html/users_guide/glasgow_exts.html#template-haskell`. Accessed: 2018-09-02.

[5] GHC User's Guide Documentation, QuasiQuoter. `https://downloads.haskell.org/~ghc/latest/docs/html/users_guide/glasgow_exts.html#template-haskell-quasi-quotation`. Accessed: 2018-09-02.