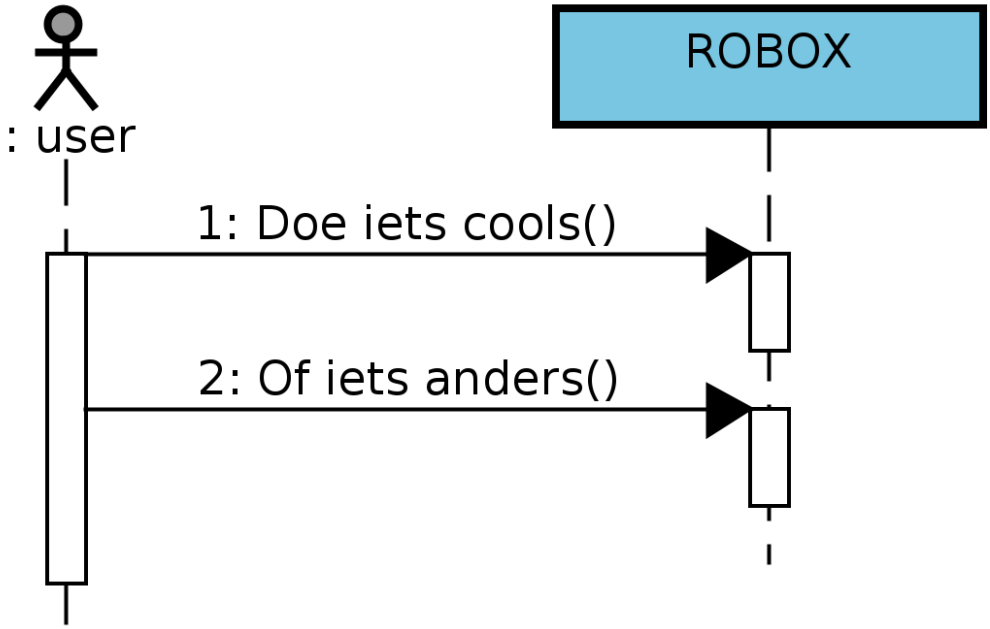
ROBOX - Firmware

Software design description



Auteur	Luke van Luijn	**Minor**	Digital Media Productions (DMP)
Student nummer	587478	**Docentbegeleider**	Mario de Vries
Opleiding	HBO-ICT	**Plaats**	Nijmegen
Profiel	Embedded Software Development (ESD)	**Datum**	27-05-2022
Studiejaar	Jaar 3	**Versie**	1.0

Inhoudsopgaven

1. Termen

Index	Term	Beschrijving
00	**ROBOX/ Robot**	Met deze term wordt de fysieke robot ofwel het apparaat bedoelt.
01	**UML**	*Unified modeling language* De taal die gebruikt wordt voor het modeleren van een software systeem.
02	**SRS**	*Software requirements specification* Het ontwerp document van de geschreven software.
03	**Package/ Namespace**	Een groepering van software componenten die een soortgelijk doel nastreven.
04	**Coupling**	De graad van samenhang tussen verschillende componenten in een systeem (Wikipedia contributors, 2022a).
05	**Overkoepelende systeem/ gebruiker**	Met deze term wordt de grafische user interface bedoelt.
06	**Serieele bus**	Een veegebruikt, maar ouderwets, protocol waarmee verschillende apparaaten, bijvoorbeeld via USB, data kunnen uitwisselen (Wikipedia-bijdragers, 2022).
07	**Parsen**	Het uitlezen van een ASCII string, om hier vervolgens de correcte waardes uit te halen.
08	**Singleton pattern**	Een design pattern die het mogelijk maakt om precies een instantie van een class te hebben (Sourcemaking, z.d.-a).
09	**Facade pattern**	Een design pattern die complexe (sub) systemen verbergt en de functionaliteit toegankelijk maakt door middel van een 'deur'-class (Sourcemaking, z.d.-b).
10	**State pattern**	Een design pattern die het mogelijk maakt op een elegante manier verschillende functionaliteiten uit te voeren op basis van verschillende inputs (Sourcemaking, z.d.-c).
11	**Homing**	De robot weet niet in welke positie de stepper motoren zich bevinden. Door een homing sequence uit te voeren weet de robot waar de motoren zich precies bevinden. Na een homing sequence kunnen er dus exacte bewegingen gedaan worden.
12	**Blokeren**	Het ophouden van de algemene 'flow' van de applicatie. Als iets blokerend is staat verder alles stil tot de blokade is verholpen.
13	**Severity**	De rangschikking van de log berichten. ERROR > WARNING > INFO > DEBUG.

2. Introductie

In dit document zal het ontwerp van de firmware beschreven worden. Hoe deze applicatie in essentie uitgewertk is.

2.1. Doel en domein

Dit project, ROBOX, dient als een initieele opzet voor een groeiend project. De firmware zal in de toekomst verder uitgebereid en verbetert worden of door de ontwikkelaar zelf of door externe belangstellende. Het doel van de huidige itteratie is om een goed werkend product te ontwikkelen dat de basis functionaliteit implementeerd.

2.2. Doelgroep

Het Software design description document is geschreven voor de projectbelgeleiding en eventueel andere (externe) belangstellende. In dit document wordt aangenomen dat de lezer een basis kennis bevat van UML en software ontwikkeling. Ook wordt er vanuit gegaan dat de lezer kennis heeft van het SRS document gemaakt voor de firmware.

2.3. Doel van het document

Dit document is opgezet om een duidelijk beeld te creeeren van de werking van het product. In dit document worden de verschillende componenten toegelicht aan de hand van class diagrams en eventueel sequence diagrams.

3. Architectural overview

De firmware applicatie is onderverdeeld in meerdere *packages*, ook wel *namespaces*. Het algemene overzicht van de gehele applicatie is weergegeven aan de hand van een design class diagram (zie onderstaand). Vervolgens is er per package een class diagram opgesteld met een bijhorende beschrijving, deze volgen in de onderstaande onderdelen.

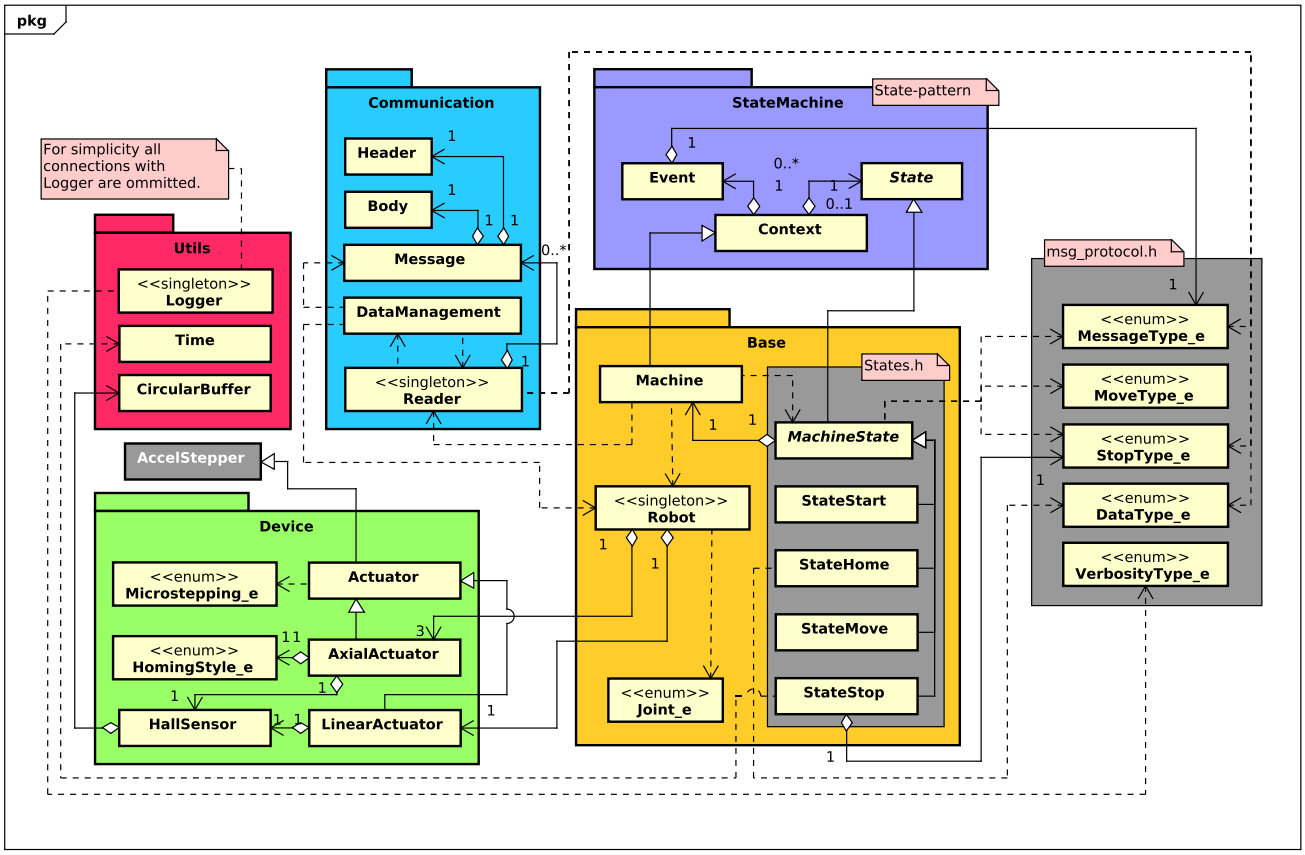


Diagram 1 - *Design class diagram - Firmware applicatie*

Zoals te zien in het bovenstaande diagram is de applicatie geschreven met een minimale *coupling* in het achterhoofd. Deze minimale coupling is gerealiseerd door waar mogelijk gebruik te maken van een *facade pattern*. Een voorbeeld van dit design pattern is te zien bij de class Reader en Robot, beide deze klaseen fungeren als deur naar een dieper complex systeem. Hierover is meer te lezen in de onderstaande onderdelen.

4. Detailed design description

4.1. Package - Communication

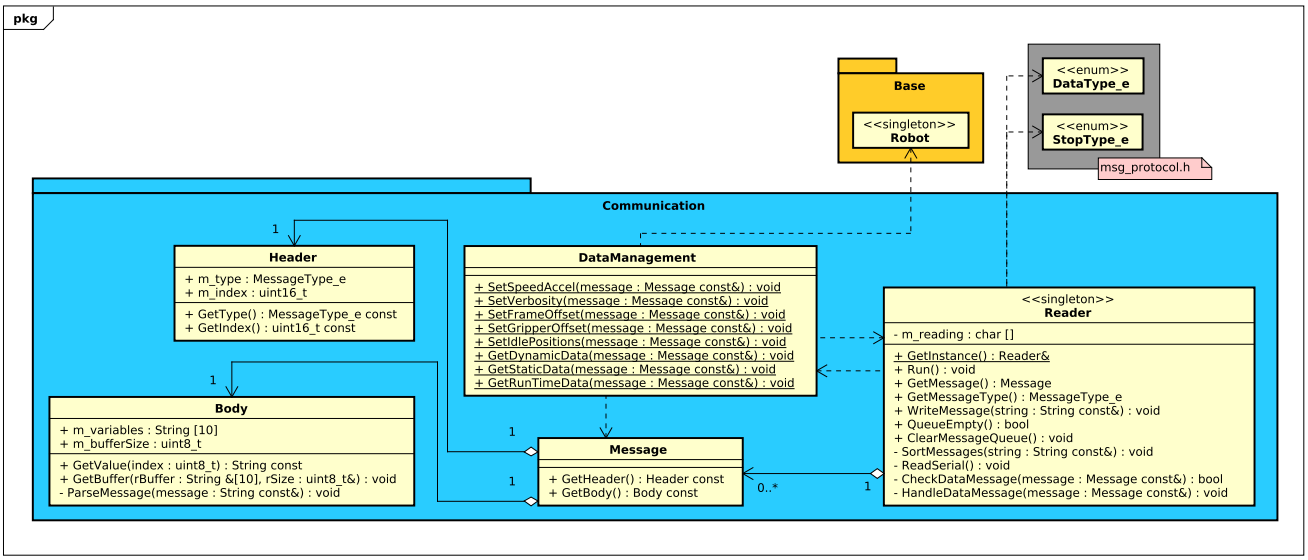


Diagram 2 - *Class diagram - Communication package*

De package **Communication** is verandtwoordelijk voor de communicatie met de het *overkoepelende systeem*. Het regelt beide het schrijven en lezen over de *serieele bus*. De communicatie is gebaseerd op de klasse **Message**, deze class is in essentie een buffer voor een inkomend bericht. Een message bestaat uit een **Header** en een **Body**. De Header bevat het type bericht en de variant van dit type (zie message protocol). De body bevat eventueele parameters die het bericht bevat. De klasse **DataManager** is verantwoordelijk voor het correct *parsen* en opstellen van de berichten. Deze functionaliteit is gebasseerd op het *message protocol*.

De class **Reader** is de class die daadwerkelijk de inkomende berichten leest. Omdat de serieele bus maar op een enkele locatie tegelijk aangesproken kan worden is er bij deze class gebruik gemaakt van een *singleton pattern*. Deze class kijkt continue naar de serieele bus, als er een bericht beschikbaar is zal deze gecontroleerd worden op basis van het *message protocol* en, indien goedgekeurd, gesorteerd worden in de messageQueue. Tijdens het sorteren zal er gekeken worden naar de header van de message. Als blijkt dat de header van de message een datatype is (DataType_e) zal dit bericht direct afgehandeld worden door een response te creeeren. Als het een E-Stop bericht te zijn zullen de motoren direct ge-deactiveerd worden en wordt de gehele messageQueue geleegd zodat de robot stopt met bewegen en ook niet meer verder gaat. Als dit beide niet het geval is zal het bericht aan de messageQueue worden toegevoegd. Wanneer de state machine gereed is om eem beweging te maken zal de messageQueue worden afgehandeld.

4.1.1. Ontwerp keuzes

Probleem	De serieele bus mag maar door een instantie tegelijk aangesproken worden.
Besluit	Er is voor een singleton pattern gekozen.
Alternatieve	Handmatig bijhouden welke instantie wanneer de serieele bus aanspreekt.
Argumenten	Een singleton class heeft als eigenschap dat er altijd precies 1 instantie, dezelfde, actief is in de applicatie.

Tabel 1 - *Communication - ontwerp keuze 1*

Probleem	Hoe verzeker je dat de applicatie alle inkomende berichten altijd op dezelfde manier verwerkt (*parsed*)?
Besluit	Het opstellen van een **Message** class. De class kan maar op een manier aangemaakt worden en is dus naast de inhoud altijd hetzelfde.
Alternatieve	Het individueel parsen van de inkomende berichten waar nodig.
Argumenten	Door een **Message** te maken is er een gestandardizeerde methode om berichten te maken en uit te lezen. Dit maakt het voor de huidige en toekomste classe makkelijk om om te gaan met de serieele communicatie.

Tabel 2 - *Communication - ontwerp keuze 2*

Probleem	Hoe zorg je dat de berichten verstuurd tussen de applicaties altijd op dezelfde manier opgesteld zijn?
Besluit	Het opstellen van een bestand message protocol (**msg_protocol.h**), en dit bestand vervolgens voor beide applicaties gebruiken.
Alternatieve	Erg goed opletten dat de berichten altijd volgens het zelfde patroon verlopen.
Argumenten	Door een protocol op te stellen is het makkelijker om een correct geformuleerd bericht op te zetten. Het uitlezen van berichten is hierdoor ook veel minder *'error-prone'*.

Tabel 3 - *Communication - ontwerp keuze 3*

4.2. Package - State machine

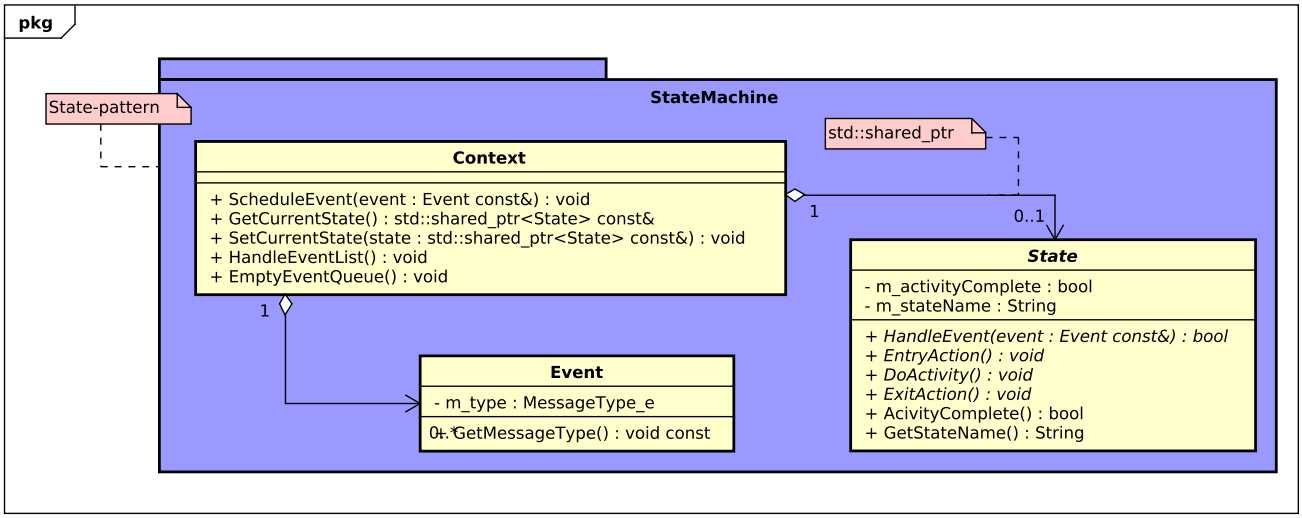


Diagram 3 - *Class diagram - State machine package*

De package **State Machine** is verantwoordelijk voor de opzet en uitwerking van de statemachine. Deze package is een uitwerking van de *state pattern*. Door gebruik te maken van een state machine is het makkelijk om op basis van een bepaalde input (een serieel bericht) een bepaalde functionalteit uit te voeren.

De class **State** is een abstrace uitwerking van een state. Het is de bedoeling dat deze in de daadwerkelijke applicatie uitgewerkt wordt (zie Package - Base). De class **Event** fungeert als een trigger. Aan de hand van deze class kunnen verschillende transities getriggerd worden binnen de state machine. Tot slot de class **Context**. De Context class regelt de samenhang tussen state en event. Deze class bevat een lijst met events die een voor een afgehandeld worden. Ook heeft deze class een instantie van de huidige state. Context is ook verantwoordelijk voor het uitvoeren van de transties tusses states.

4.2.1. Ontwerp keuzes

Probleem	Hoe voer je verschillende functionaliteiten uit op basis van input?
Besluit	Het opstellen van een state machine, volgens het state pattern.
Alternatieve	Een omvangrijke 'if else'-boom, switch case.
Argumenten	Een state machine is een elegante oplossing voor het probleem. Het levert de mogelijkheid om op een overzichtelijke manier de verschillende situaties (states) af te handelen.

Tabel 4 - *State machine - ontwerp keuze 1*

4.3. Package - Device

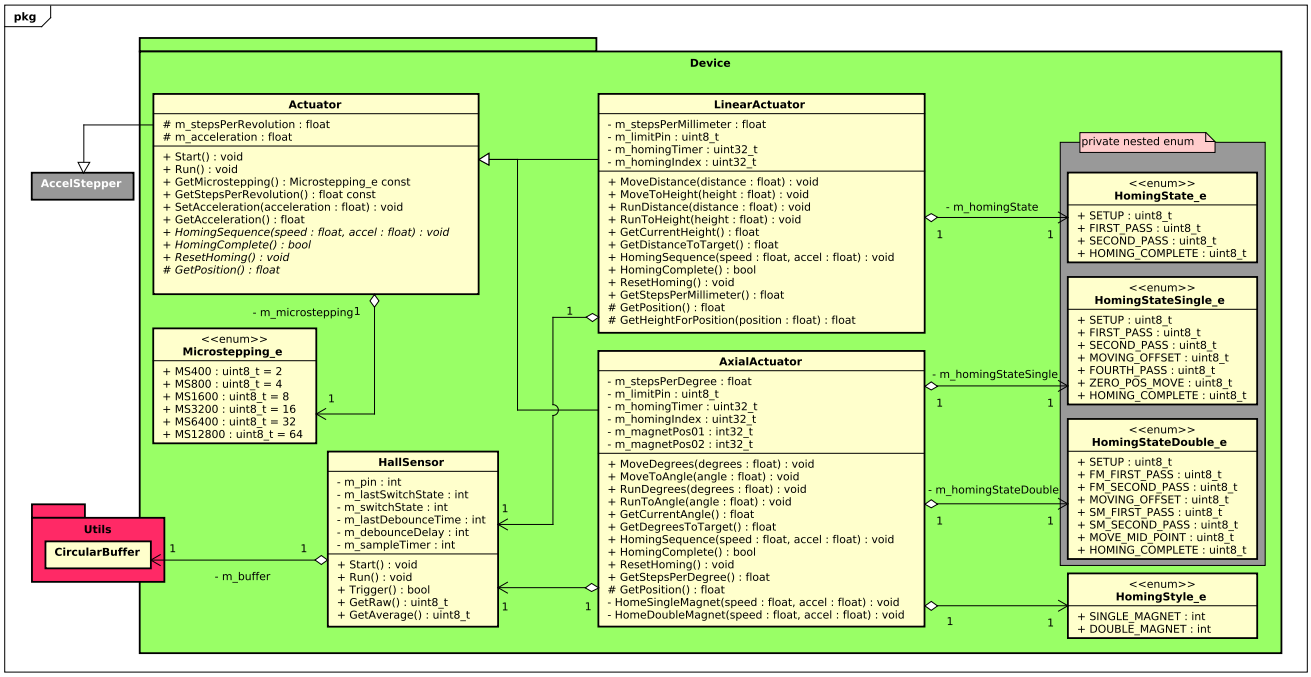


Diagram 4 - *Class diagram - Device package*

De package **Device** heeft als verantwoordelijkheid het direct aanspreken van de verschillende hardware componenten. De class **Actuator** is de overkoepelende actuator class die de algemene zaken regelt die voor beide onderliggende actuator classen hetzelfde zijn. **Linear** & **AxialActuator** zijn de daadwerklijke actuators. De applicatie heeft drie axiale actuators en een lineaire actuator. De axiale actuator regelt beweging in graden en de lineaire actuator regelt beweging in millimeters. Beide deze uitwerkingen maken gebruik van een **HallSensor** instantie voor *homing*. De enumeraties **HomingState_e**, **HomingStateSingle_e** & **HomingStateDouble_e** worden gebruikt voor de homing sequence van de actuatoren.

4.3.1. Ontwerp keuzes

Probleem	Hoe kun je een homing sequence uitvoeren voor vier verschillende motoren zonder dat deze sequence het resterende programma *blokeerd*?
Besluit	Het gebruik van verschillende enumeraties die de verschillende stadia van de sequence weergegeven zodat het voor de applicatie duidelijk is welke actie ondernomen moet worden.
Alternatieve	Een homing sequence gebruiken die wel blokeerd.
Argumenten	Gezien de lineaire actuator vrij traag is en de axiale actuatoren ook niet bijster snel ontstond er een homing sequence van ongeveer twee minuten, in blokerende toestand. Het was dus noodzakelijk om een niet-blokerende homing sequence op te zetten zodat in ieder geval alle actuator tegelijkertijd de sequence konden uitvoeren.

Tabel 5 - *Device - ontwerp keuze 1*

4.4. Package - Utils

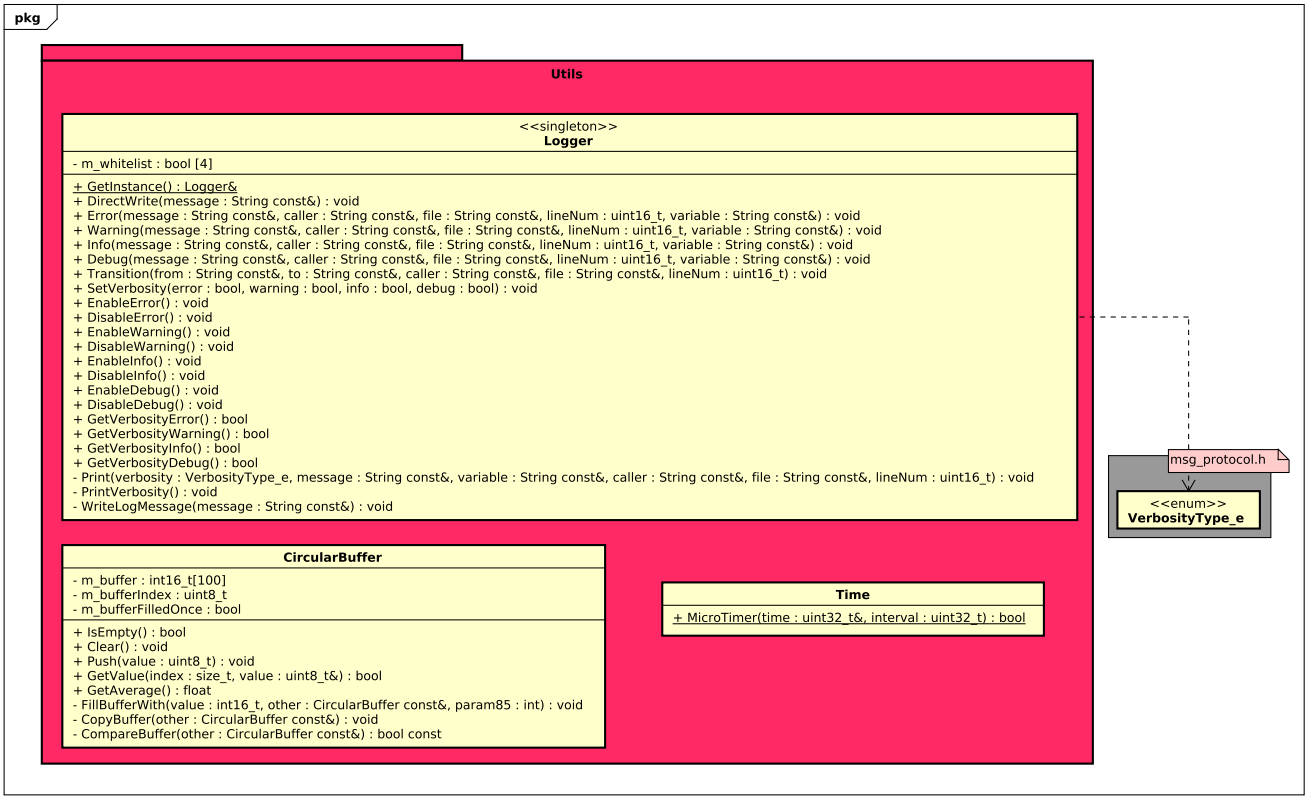


Diagram 5 - *Class diagram - Utils*

De **Utils** package is een verzameling van verschillende class die ieder een eigen functionaliteit bevatten. De class Time bestaat uit een enkele methode *MicroTimer*. De class **CircularBuffer** is een C++ implementatie van de circulaire buffer (Wikipedia contributors, 2022a) bedoelt voor het efficient opslaan en uitlezen van sensor waarde.

De **Logger** class heeft iets meer substantie dan de andere twee. De logger wordt door vrijwel de gehele applicatie gebruikt. De logger geeft de mogelijkheid om berichten naar de console te schrijven in een voorbepaald format. De Logger is de enige class die naar de seriele bus mag schrijven en is daarom, net zoals de reader, een singleton. Dit maakt het en makkelijk om vanaf meerdere locaties in de applicatie gebruik te maken van de logger en zorgt ervoor dat er nooit van meerdere locaties naar de serieele bus geschreven wordt. De logger houdt ook de *severity* van een bericht bij. Er zijn vier verschillende severities; ERROR, WARNING, INFO en DEBUG. Ieder van deze niveau's kan worden uit- en ingeschakeld. Naast de severity wordt ook de locatie van aanroepen meegenomen in het bericht. De methode, bestandsnaam en lijnnummer moet worden bijgehouden. Omdat het meeegeven van al deze data nogal veel typ-werk is is er bij de logger ook gebruik gemaakt van verschillende *Macro's*, deze macro's zijn hier terug te vinden. Door gebruik te maken van deze macro's is het opstellen van een log-bericht een stuk simpeler.

Zonder macro	`Utils::Logger::GetInstance().Error("message", __func__,__FILE__,__LINE__, "vars");`
Met macro	`ERROR("message", "vars");`

Door log berichten te voorzien van deze verschillende data elementen is het tijdens het afspelen van de applicatie vele malen makkelijker om bij te houden wat er precies gebeurt in de applicatie.

4.4.1. Ontwerp keuzes

Probleem	Hoe kan op een efficiente manier data opgeslagen en uitgelezen worden, verkregen van sensoren?
Besluit	Het opstellen van een circulaire buffer.
Alternatieve	Grote arrays, of dynamische opties zoals vectoren.
Argumenten	Een circulaire buffer is erg efficient qua opslag en geheugen. Het levert altijd een relatief betrouwbaar gemiddelde van de huidige data en is makkelijk in gebruik.

Tabel 6 - *Utils - ontwerp keuze 1*

Probleem	Hoe verzeker je dat er maar een instante tegelijkertijd naar de serieele bus schrijft.
Besluit	Er is wederom gekozen voor het gebruik van het singleton pattern.
Alternatieve	Zeer precies bijhouden wanneer er geschreven wordt naar de serieele bus.
Argumenten	Zoals eerder vermeld, een singleton heeft maar een enkele instantie. Het is daarom een ideale keuze voor een probleem als deze.

Tabel 7 - *Utils - ontwerp keuze 2*

Probleem	Hoe kun je als gebruiker van de applicatie duidelijk zien wanneer, waar, wat gebeurt?
Besluit	Door tijd, methode, bestandsnaam en lijnnummer bij te houden van elke aanroep van een log bericht.
Alternatieve	deze data handmatig in het bericht te verwerken.
Argumenten	De bovenstaande velden zijn ingebouwde macro's van C++ en zijn opgesteld precies om de reden die hier als probleem is opgesteld. Door deze data mee te geven aan elk log bericht is het meteen duidelijk waar er gekeken moet worden bij een onverwachte situatie.

Tabel 8 - *Utils - ontwerp keuze 3*

Probleem	Hoe kun je op efficiente manier log berichten opstellen met toch de adequate data onderdelen.
Besluit	Het opstellen van verschillende macro's die al deze datavelden automatisch aanroepen.
Alternatieve	Het handmatig meegegeven van deze velden.
Argumenten	Zoals verteld zijn de velden ingebouwde C++ macro's en zijn daarom ideaal om gebruikt te worden voor een situatie als deze.

Tabel 9 - *Utils - ontwerp keuze 4*

4.5. Package - Base

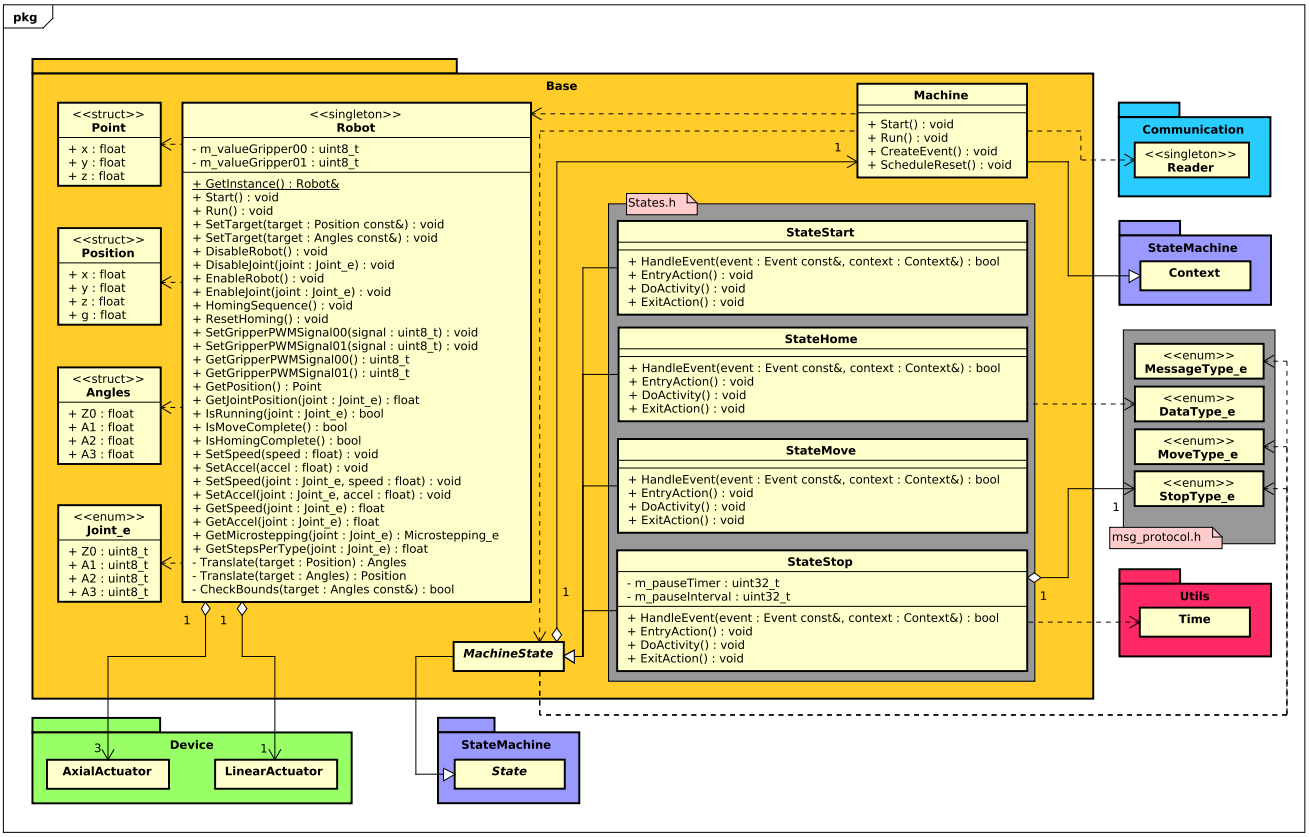


Diagram 6 - *Class diagram - Base*

De **Base** pacakge is het centrale punt van de applicatie. In deze package is de samenhang tussen de package communication, Statemachine en device geregeld. De base package is opgedeeld in twee hoofd onderdelen.

Aan de ene kan is de **Robot** class. Deze class is verantwoordelijk voor alles hardware. In deze class worden de verschillende actuatoren aangestuurd en gevalideerd. De Robot class is gemaakt volgens het singleton pattern, net zoals bij de serieele bus mag er altijd maar precies een instantie gebruik maken van de hardware. Verder wordt in de Robot class nog inverse en forward kinematica toegepast voor het vertalen van hoeken naar positie en van positie naar hoeken.

Aan de andere kant de state machine implementatie. De class **Machine** is een afgeleide van de class Context en draagd dezelfde verantwoordelijkheid. De class **MachineState** is een directe afgeleide van de State class, alle onderliggende state-classes staan hieronder beschreven;

Class	Beschrijving
StartState	Start state is de staat waar de applicatie wacht op input van de gebruiker. In deze state zijn alle motoren uitgeschakeld.
HomeState	In deze state voert de applicatie de homing sequence uit voor de vier verschillende actuatoren. Tijdens deze state is het mogelijk om een e-stop uit te voeren. Zodra de homing sequence voltooid is zal de flag: 'activityComplete' op true gezet worden.

Class	Beschrijving
MoveState	In de move state worden de motors direct aangesproken en zal de robot gaan bewegen. Zodra de beweging voltooid is zal de flag 'activityComplete' op true gezet worden. Ook tijdens deze state kan er een e-stop uitgevoerd worden.
StopState	In de stop state wordt het stoppen en pauzeren van de robot geregeld. Bij het pauzeren van de robot wordt er een timer aangezet, zodra de timer afloopt zal de activityComplete flag op true gezet worden. Bij het stoppen van de robot wordt de robot naar de *idle positions* bewogen. Zodra de robot aangekomen is op deze posities worden de motoren uitgeschakeld en de activityComplete flag op true gezet.

Tabel 10 - State beschrijvingen

In het onderstaande state machine diagram is het verloop van de statemachine nogmaals afgebeeld.

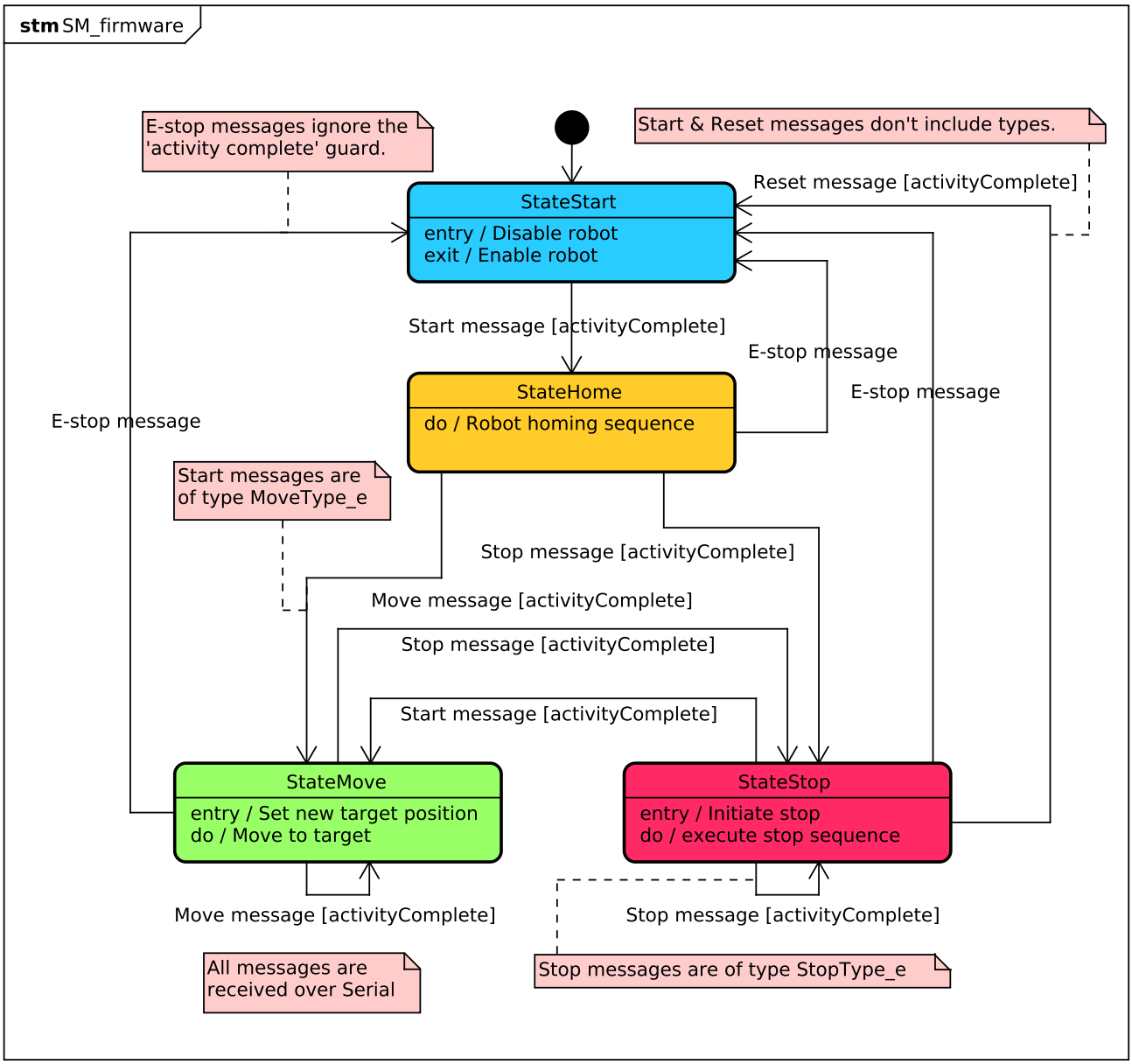


Diagram 7 - *Statemachine diagram*

4.5.1. Ontwerp keuzes

Probleem	Hoe verzeker je dat er maar een instantie tegelijkertijd met de hardware componenten communiceerd?
Besluit	Het opstellen van een singleton class.
Alternatieve	Het zeer accuraat bijhouden wie er met de componenten praat.
Argumenten	Zoals meerdere malen verteld is een singleton uitermate geschikt als een restrictie voor het vanaf verschillende locaties praten met onderdelen.

Tabel 11 - *Base - ontwerp keuze 1*

Probleem	Hoe kun je vanuit hoeken voor iedere joint berekenen wat de uiteindelijke positie van de gripper zal zijn?
Besluit	Het toepassen van forwards kinematica.
Alternatieve	geen.
Argumenten	Het toepassen van forwards kinematica levert de mogelijkheid om vanuit de eerder genoemde hoeken de eindpositie van de gripper te berekenen.

Tabel 12 - *Base - ontwerp keuze 2*

Probleem	Hoe kun je vanuit een eindpositie van de gripper bepalen wat de hoeken moeten zijn voor de rest van de robot?
Besluit	Get toepassen van inverse kinematica.
Alternatieve	geen.
Argumenten	Het toepassen van inverse kinematica levert de mogelijkheid om vanuit de eerder genoemde positie de verschillende hoeken van de robot te berekenen.

Tabel 13 - *Base - ontwerp keuze 3*

5. Literatuurlijst

Index	Source
1	Sourcemaking. (z.d.-a). Design Patterns and Refactoring. Singleton. Geraadpleegd op 27 mei 2022, van https://sourcemaking.com/design_patterns/singleton
2	Sourcemaking. (z.d.-b). Design Patterns and Refactoring. Facade. Geraadpleegd op 27 mei 2022, van https://sourcemaking.com/design_patterns/facade
3	Sourcemaking. (z.d.-c). Design Patterns and Refactoring. State. Geraadpleegd op 27 mei 2022, van https://sourcemaking.com/design_patterns/state
4	Wikipedia contributors. (2022a, mei 6). Coupling (computer programming). Wikipedia. Geraadpleegd op 27 mei 2022, van https://en.wikipedia.org/wiki/Coupling_(computer_programming)
5	Wikipedia contributors. (2022b, mei 23). ASCII. Wikipedia. Geraadpleegd op 27 mei 2022, van https://en.wikipedia.org/wiki/ASCII
6	Wikipedia-bijdragers. (2022, 10 februari). Universal serial bus. Wikipedia. Geraadpleegd op 27 mei 2022, van https://nl.wikipedia.org/wiki/Universal_serial_bus
7	Wikipedia contributors. (2022a, april 26). Circular buffer. Wikipedia. Geraadpleegd op 27 mei 2022, van https://en.wikipedia.org/wiki/Circular_buffer