



nodigt U graag uit op de openbare verdediging van het proefschrift van

Christophe De Troyer

ter behaling van de graad van Doctor in de Wetenschappen

Titel van het proefschrift:

**A meta-level architecture for stream-based programming languages
and its applications in cyber-physical systems**

Promotors:

Prof. dr. Wolfgang De Meuter (VUB)

Prof. dr. Jens Nicolay (VUB)

De verdediging heeft plaats op

Maandag 27 juni 2022 om 17u in aula D0.0.7

Gelieve contact op te nemen met Christophe De Troyer via christophe.de.troyer@vub.be indien u de presentatie wenst te volgen van op afstand.

Samenstelling van de jury

Prof. dr. Ann Nowe (VUB, voorzitter)

Prof. dr. Abdellah Touhafi (VUB, secretaris)

Prof. dr. Elisa Gonzalez Boix (VUB)

Prof. dr. Walter Cazzola (Universita degli Studi di Milano)

Prof. dr. Hidehiko Masuhara (Tokyo Institute of Technology)

Curriculum vitae

Christophe De Troyer heeft zijn professionele bachelor in de toegepaste informatica behaald aan hogeschool Gent in 2012, en zijn master in de computerwetenschappen aan de Vrije Universiteit Brussel (VUB) in 2015. Vervolgens is hij begonnen aan zijn doctoraat bij het Software Languages Lab (SOFT) met financiering van het FWO SBO project "D3-CPS", waar hij assistent was van verschillende vakken, en verschillende master- en bachelorstudenten begeleid heeft tijdens hun thesis.

Christophe zijn onderzoek draaide vooral rond het meta-programmeren voor stroom-gebaseerde programmeertalen, en de toepassing daarvan in context van "Cyber-Physical Systems" om ontwikkelaars te helpen software te schrijven voor groot-schalige, onbetrouwbare netwerken van heterogene apparaten.

Zijn werk heeft geleid tot peer-reviewed publicaties in een journal, conferentie, en meerdere workshops.

Abstract van het doctoraatsonderzoek

Moderne computernetwerken bestaan niet langer enkel en alleen uit mainframes en computers. Dankzij de miniaturisatie en massaproductie van computerchips is het mogelijk geworden om kleine computerchips in dagdagelijkse objecten te stoppen, en zo een netwerk te vormen met deze objecten. Zo een netwerk heet een Cyber-Physical System (CPS). Moderne CPSen bestaan uit productiemachines, auto's, oliepijpleidingen, robots, etc. Apparaten in een CPS sturen doorlopend gegevens en instructies naar elkaar om een gezamenlijk doel te bereiken, en zo de gebruikerservaring van het gehele systeem te verbeteren.

Moderne CPSen kunnen bestaan uit duizenden heterogene apparaten, verbonden door middel van een netwerk. Elk apparaat reageert op instructies en signalen van andere apparaten, en kan op zijn beurt nieuwe instructies en signalen op het netwerk sturen. Dit zorgt voor een kettingreactie doorheen het hele systeem.

De verschillende hard- en software eigenschappen van de heterogene apparaten in een CPS beïnvloeden op welke manier er software gemaakt wordt voor deze systemen. Sommige apparaten werken op een batterij, wat ze onbetrouwbaar maakt op de lange termijn. Sommige apparaten zijn verbonden met het netwerk door middel van onbetrouwbare verbindingen, wat ze onbetrouwbaar maakt op korte termijn. Sommige apparaten zijn functioneel equivalent (e.g., thermometers), maar verschillen in hun niet-functionele eigenschappen (e.g., data representatie of protocol). Dit zorgt ervoor dat deze niet uniform geïntegreerd kunnen worden in het netwerk. Ten laatste zijn er objecten wiens ingebedde computer niet krachtig genoeg is om complexe berekeningen uit te voeren.

In deze verhandeling stellen we een tweeledige aanpak voor om moderne CPSen te ontwikkelen. Als eerste luik stellen we een nieuwe gedistribueerde event-driven architectuur voor op basis van reactieve stromen. Reactieve stroom applicaties zijn gedefinieerd als declaratieve transformaties van potentieel oneindige stromen van data. De distributie van reactieve stromen maakt het mogelijk voor meerdere apparaten om samen te werken aan een gezamenlijke berekening. Gedistribueerde stromen zijn uitermate geschikt om event-driven gedistribueerde systemen zoals CPSen uit te drukken. In het tweede luik van onze aanpak stellen we een meta-architectuur voor stromen voor om de non-functionele verschillen van apparaten te scheiden van de stromen. We gebruiken deze meta-architectuur om de verschillende eigenschappen van de apparaten in een CPS van elkaar te scheiden, en zo een uniforme integratie mogelijk te maken.

We tonen aan dat reactieve stromen een goed paradigma zijn om CPSen te implementeren. De reactieve en gedistribueerde eigenschappen van reactieve stromen maken het mogelijk om schaalbare, gedistribueerde, veerkrachtige event-driven systemen te ontwerpen. Het paradigma motiveert de ontwikkelaar om uitbreidbare en open systemen te ontwikkelen. De meta-level architectuur van de stromen scheidt de niet-functionele eigenschappen van de apparaten van de applicatie logica.

We evalueren ons stroom paradigma door een prototype stroom DSL te implementeren genaamd Creek. We ontwikkelen een prototype meta-level architectuur op Creek, genaamd Creek μ . We evalueren onze architectuur door tekortkomingen geïdentificeerd door de literatuur te implementeren zoals pull semantiek, logging, encryptie, en operator fusie. Verder evalueren we de performantie impact van onze meta-level architectuur en implementeren we een rudimentaire debugger op basis van het meta-protocol. Tenslotte evalueren we onze CPS architectuur aan de hand van een prototype implementatie, genaamd Potato. We gebruiken Potato om een smart-building use-case uit de literatuur te implementeren. We tonen aan dat onze aanpak de accidentele complexiteit reduceert die gepaard gaat met CPSen, en resulteert in onderhoudsvriendelijke en uitbreidbare applicaties.