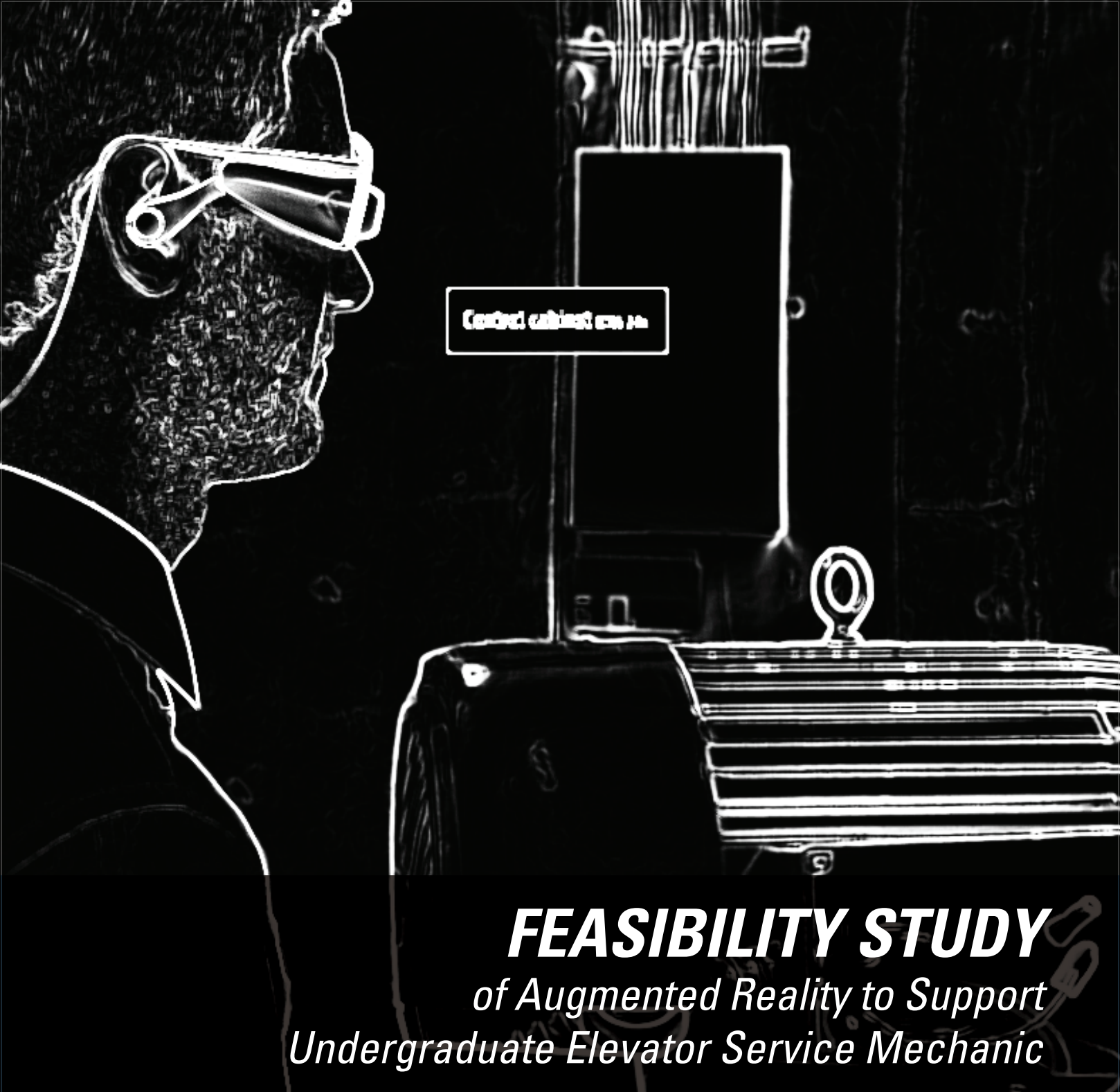




FEASIBILITY STUDY *of Augmented Reality to Support Undergraduate Elevator Service Mechanic*

Bachelor assignment Industrial Design
T.J. van der Laan

2014
Benchmark Electronics
University of Twente

Feasibility Study of Augmented Reality to Support Undergraduate Elevator Service Technician

Bachelor assignment Industrial Design - 19.09.2014

Student

T.J. van der Laan

s1008587

Project coordinators

Dr. Ir. T.H.J. Vaneker

Dr. Ir. M.C. van der Voort

Coordinator Benchmark

bc. C. Suurmeijer

Bachelor coordinator

Ir. A.P. van den Beukel



UNIVERSITEIT TWENTE.

Benchmark Electronics

Lelyweg 10

7602 AE Almelo

+31 (0)546 535 111

University of Twente

Faculty of Engineering Technology (CTW)

Industrial Design

Level 0 Augmented Reality: A simple link from the physical world to the virtual world.



Scan de code of surf naar
www.tjibbevanderlaan.nl/ar/ om de
bijbehorende video's te bekijken.

Preface

Het bacheloropleiding Industrieel Ontwerpen van de Universiteit Twente wordt bij voorkeur afgerond met een opdracht bij een extern bedrijf. Ik heb mijn opdracht met veel plezier mogen voltooien bij Benchmark Electronics te Almelo. Benchmark Electronics ontwikkelt en produceert producten in opdracht van een merk of bedrijf. In de periode van eind april tot en met augustus 2014 heb ik mee mogen kijken bij de mechanische en designafdeling van het bedrijf. Tijdens mijn opdracht heb ik mij bezig gehouden met de zeer vernieuwende technologie Augmented Reality. Een interessant bezoek aan de AR-ontwerpstudio TWNKLS in Rotterdam heeft concrete toepassingen van Augmented Reality laten zien en daarmee de opdracht tastbaar gemaakt. Ik vond het erg interessant om deze actuele technologie te mogen onderzoeken. De technologie is zelfs zo actueel dat op het moment van schrijven een nieuwe AR-bril wordt aangekondigd door Sony.

Ik wil iedereen in het team bedanken voor de gezellige momenten en de interessante gesprekken in de middagpauzes. Daarnaast wil ik in het bijzonder Tom en Christian bedanken voor de begeleiding bij de opdracht.

Tjibbe van der Laan
19.09.2014

Table of Contents

Preface.....	3
Table of Contents.....	4
Glossary	6
Abstract.....	8
Introduction	10
1 Technology Research	11
1.1 What is Augmented Reality?	12
1.2 History	13
1.3 Enabling Technologies.....	14
1.3.1 Displays	14
1.3.2 Tracking	18
1.3.3 User Interaction	19
1.3.3 Information Management	21
1.4 Future Perspective	22
1.4.1 Limits	23
1.4.2 Future Perspective	23
1.5 Applications.....	24
1.6 Conclusion.....	26
1.6.1 Tracking	26
1.6.2 Information Management	26
1.6.3 Smartglasses	26
1.6.4 Promising Applications	26
2 Fluke Corporation	27
2.1 Introduction	28
2.2 User Research	28
2.3 Vision	28
3 User Research	31
3.1 The Elevator Company	32
3.1.1 The Company	32
3.1.2 Elevator types	33
3.1.3 Escalators & Moving Walkways	33
3.1.4 Vision	33
3.1.5 The Gen2-model	33
3.1.6 Composition	34
3.1.7 Potential Problems and Failures	34
3.1.8 Maintenance and Troubleshooting Services	35
3.2 The Service Technician.....	36
3.2.1 Archetype	36
3.2.2 Environment	36
3.2.3 Equipment	36
3.2.4 Tasks	38
3.2.5 Method	39
3.2.6 Troubleshooting	39

3.3 Conclusion	41
3.3.1 Partial results and conclusions	41
3.3.2 Problem Definition	41
3.3.3 Possible Solutions	41

4 System Design 43

4.1 Introduction	44
4.1.1 Goal	44
4.1.2 Operation	44
4.1.3 Added value of AR	44
4.1.4 Assumptions	44
4.1.5 System Tools	44
4.1.6 Approach	45
4.1.7 Fluke InspectAR	45
4.2 Requirements	46
4.2.1 Operational Scenario	46
4.2.2 Operational Requirements	47
4.3 System Architecture	48
4.4 Plant Service Model	50
4.4.1 Introduction	50
4.4.2 Structure	50
4.5 The Smartglass	54
4.5.1 View	54
4.5.2 User-input	54
4.5.3 Behaviour	55
4.5.4 Card viewer Options	60
4.5.5 Technical Implementation	61
4.6 The Tablet	62
4.6.1 Functions	62
4.6.2 Hardware set-up	62
4.7 Operational Scenario	64
4.7.1 Purpose	64
4.7.2 Scenario	64
4.7 Discussion and Conclusion	72

5 References 75

Appendix in separate confidential document

Glossary

Application Programming Interface	API	Een onderdeel van een computerprogramma wat communicatie met externe programma's mogelijk maakt.
Augmented Reality		Een hypermoderne technologie die digitale informatie toegevoegd aan de werkelijke wereld.
Benchmark Electronics		Een Original Design Manufacturer dat geavanceerde producten maakt en ontwerpt.
Computer-Aided Design	CAD	Computergesteund ontwerp. Een CAD-tekening is een digitale 2D of 3D tekening van een onderdeel. De tekening is bijvoorbeeld vervaardigd voor productie van het onderdeel.
Drift		Een ongewenste meetonauwkeurigheid.
Elite Service		De meest uitgebreide onderhoudsservice van OTIS. OTIS biedt verschillende onderhoudspakketen aan.
eService		Een web- en mobiele applicatie voor het opvragen van liftgegevens, zoals het gepland onderhoud, storingshistorie etc.
Eye Motion Box		Het beeld dat bekeken kan worden zonder het hoofd maar wel de ogen te bewegen.
Field of view	FOV	Het beeld dat bekeken kan worden zonder de ogen of het hoofd te bewegen.
Fluke Corporation		Producent van elektronische meetgereedschappen.
Google Glass		De meest bekende smartglass met geïntegreerde computer, spraakherkenning, camera en een beperkte optical-see through scherm. Real-time AR is niet mogelijk.
Hand-held		Een mobiel apparaat dat in de hand wordt gehouden bij gebruik.
Head-mounted display	HMD	Een op het hoofd gemonteerd visueel scherm dat beelden weergeeft in het gezichtsveld.
Head-up display	HUD	Een ruimtelijk gemonteerd scherm dat beelden weergeeft in het gezichtsveld.
Marker-based		Het herkennen van de omgeving doormiddel van beeldherkenning met een visuele marker. Deze visuele markers zijn opvallend en uniek en daarmee gemakkelijk te herkennen. De QR-codes zijn veel gebruikte markers.
Markerless		Het herkennen van de omgeving doormiddel van beeldherkenning zonder (opvallende) markers.
Oculus Rift		De meest bekende virtual-reality bril.
Original Design Manufacturer	ODM	Een bedrijf dat producten produceert in opdracht van een merk.
OTIS Elevator Company		Fabrikant, installateur en serviceonderneming van liften, roltrappen en rolpaden.
Pictorial cues		Aanwijzingen in afbeeldingen waardoor de mens bijvoorbeeld diepte interpreteert.

Plant service model		Een digitale beschrijving van de werklocatie (zoals een lift) en zijn onderdelen. De beschrijving is uit te breiden en aan te passen door de gebruikers van het model.
Point cloud		Een set van data punten in een bepaald coördinatenstelsel. In dit rapport worden afbeeldingen van de omgeving gebruikt als datapunten in een drie dimensionaal stelsel. Een puntenwolk is te vertalen tot een virtuele 3D-model van de ruimte.
REM-system		Een automatisch systeem dat storingen en problemen digitaal meldt aan de OTIS Service Line. Ook bedrijfsparameters van de lift kunnen worden aangepast. Het systeem werkt dus in twee richtingen.
See-through display		Een beeldscherm dat ook transparant kan zijn en daarmee de werkelijke wereld laat zien.
Service Engineer		Een ingenieur van het serviceteam.
Service Line		Een hulplijn die 24/7 gebeld kan worden in geval van een storing.
Service Team		Een groep van ingenieurs, werkzaam op het kantoor van OTIS. De groep ontvangt storingen van liften en probeert deze op te lossen.
Service Technician		De onderhoudsmonteur van OTIS.
Simultaneous Localization and Mapping	SLAM	Een techniek voor het creëren van een plattegrond van een (nog) onbekende omgeving. De techniek wordt onder andere gebruikt door robots om de omgeving in kaart te brengen.
Spatial		Een apparaat dat op afstand (enkele meters) van een gebruiker is geplaatst.
Storingshistorie		Een logboek met storing- en onderhoudsgegevens per lift.
Supervision		Verrijking van de menselijke visuele waarneming.
Test Tool		Een mobiel apparaat waarmee storingsgegevens van een lift uitgelezen kunnen worden. Daarnaast kunnen sommige Test Tools de bedrijfsparameters van een lift aanpassen.
Tracken		Het registreren van een grootte (meestal de positie) van een object in de werkelijke ruimte door de tijd.
TWNKLS		Nederlandse ontwikkelaar van Augmented Reality applicaties.
Virtual support chat		Een gesprek tussen twee personen op afstand. Het gesprek bevat videobeelden, audio en handgebaren.
Visual clutter		Door het aanbrengen van teveel visuele items, wordt het interpreteren van beelden bemoeilijkt.

Dit rapport onderzoekt de mogelijkheden van de Augmented Reality voor de onderhoudssector. Het onderzoek gebruikt het onderhoud van de liften van OTIS Elevator Company als use case. Het rapport begint met een studie naar de Augmented Reality technologie en vervolgt met een studie naar de onderhoudsmonteur van OTIS. Uit de resultaten van het onderzoek wordt besloten of AR een interessante toevoeging kan zijn voor de use case.

Augmented Reality is een hypermoderne technologie die digitale informatie toegevoegd aan de werkelijke wereld. Dankzij Augmented Reality wordt het mogelijk om digitale gegevens (zoals gegevens van een MRI-scanner in een ziekenhuis) real-time te projecteren op de werkelijke wereld. Augmented Reality verlicht enerzijds de cognitieve taken van een specialist (hier de chirurg), omdat de specialist de complexe MRI-gegevens niet hoeft te overlappen op de patiënt. Anderzijds verplaatst Augmented Reality alle relevante informatie naar het gezichtsveld, zodat de specialist blijft kijken naar zijn taak. Een head-up display in een straaljager is hiervan een voorbeeld.

De technologie staat nog in zijn kinderschoenen maar is het afgelopen decennium flink verbeterd en onder de aandacht gekomen bij het brede publiek. Door een gigantische toename van rekenkracht en sensoren in tablets of smartphones, lenen deze apparaten zich uitstekend voor mobiele AR-toepassingen. Het aanbrengen van markers is niet langer nodig om objecten te herkennen in de werkelijke wereld. Beeldherkenning heeft een vogelvlucht genomen waardoor tegenwoordige meerdere vlakken simultaan herkend kunnen worden. Het herkennen van driedimensionale, reflecterende objecten blijft echter erg lastig. Compacte Augmented Reality-brillen zijn nu volop in ontwikkeling. Brillen van Google, Atheer Labs, Epson en Meta zijn voorbeelden.

Er zijn talloze toepassingen verzonnen waar Augmented Reality mogelijk

van toegevoegde waarde kan zijn. Veelbelovende applicaties worden verwacht in de medische- en entertainmentindustrie, maar ook op het gebied van onderhoud, assemblage, simulatie of navigatie. De werkwijze van de liftmonteur van OTIS Elevator Company is inzichtelijk gemaakt om een probleemstelling te formuleren. Uit onderzoek is gebleken dat liftmonteurs veel tijd kwijt zijn aan het achterhalen van de oorzaak van een storing. Doordat de nieuwe OTIS systemen betrouwbaarder worden, komen herhalende storingen minder vaak voor, wat leren in de praktijk bemoeilijkt. Een systematische aanpak en communicatie vaardigheden zijn daardoor steeds belangrijker om vlot de oorzaak te vinden van een storing. Een monteur raadpleegt een expert per telefoon, om hem op het goede spoor te zetten, indien hij geen oorzaak kan verzinnen. De probleemstelling luidt: *'Hoe kan de ondergeschoolde liftmonteur geholpen worden om een storing sneller op te lossen?'.*

Het uitwisselen van ervaringen en het vergelijken van meetresultaten uit het verleden, maakt Fluke Connect een interessante oplossing voor het (gedeeltelijk) oplossen van het probleem. Fluke Connect is een applicatie voor op de mobiele telefoon en geïntroduceerd in mei 2014. Het beheert metingen van Fluke instrumenten en koppelt deze aan onderdelen in een werkomgeving. Daarnaast is het delen van metingen en communicatie tussen monteurs eenvoudiger. Een monteur kan meetresultaten vergelijken met oudere metingen, om gemakkelijk vast te stellen of een meetresultaat onjuist is.

Desondanks neemt het systeem de rol van de expert niet over. Binnen ieder team varieert de hoeveelheid kennis van de monteurs en daarnaast beschikt OTIS over een groep ingenieurs met een grote hoeveelheid kennis. Samen zullen deze expert altijd meer weten dan dat een model kan voorspellen. Om onbekende en irreguliere storingen sneller op te lossen, moet een expert nauwer betrokken worden

bij de werklocatie. Augmented Reality wordt toegevoegd om de expert virtueel mee te laten kijken met het probleem op afstand. De expert kan meekijken met de monteur op de werkplek en virtuele aanwijzingen aanbrengen. Zintuigen van de expert worden bijna op identieke wijze geprikkeld als die van de monteur, wat overleggen makkelijker maakt en het oplossen van de storing versneld.

Een systeemontwerp is ontworpen en reflecteert op de hypothese of Augmented Reality monteurs storingen sneller laat oplossen. Het systeem presenteert een futuristisch concept gebaseerd op een smartglass (een AR-bril gebaseerd op de Google Glass in combinatie met andere smartglasses) en een tablet. Met het systeem kan de monteur onderdelen in een werkomgeving sneller kan vinden, (storings-)notities plaatsen om de communicatie te verbeteren en een virtueel gesprek starten met een expert om de oorzaak van een storing sneller te herleiden. Doormiddel van handgebaren en een touchpad navigeert de monteur door alle gegevens van de lift. Een operationeel scenario is weergegeven in hoofdstuk 4.7 en bevestigt de eerder geformuleerde hypothese. Vervolgonderzoek, zoals het evalueren van het ontwerp en het ontwikkelen van een prototype, is nodig om de hypothese kwantitatief te toetsen.

English version

The report explores the opportunities for Augmented Reality for the Maintenance and Repair service industry. The maintenance of OTIS elevators is applied as a use case. First, the current state of the Augmented Reality technology is investigated. Second, the context of the service technician is studied. The results of these researches define if it is feasible to create an Augmented Reality application to support the undergraduate elevator service technician.

Augmented Reality is a cutting-edge technology that creates an environment where digital information is inserted in an essentially real world view. It enriches the real world in real time with digital data (for example, AR projects digital data from a MRI on a patient). In certain cases, Augmented Reality relieves cognitive workload and moves all relevant information to the field of view of the user. The user can work on a task, without losing his focus. A head-up display of a fighter jet is an example.

The technology is still in its infancy, but has improved greatly this decade and became known to the general public. The computing power and the amount of sensors increased enormously in portable devices, which make mobile Augmented Reality applications obtainable. Image recognition improved greatly and makes it possible to track multiple surfaces at once. Recognition and tracking of three-dimensional, reflective objects is still a complex task for image recognition technologies. Glasses with Augmented Reality are in development. The smartglasses of Google, Atheer Labs, Epson and Meta are examples.

Numerous applications are invented to show the advantages of the technology. Promising applications are expected for medical, maintenance, entertainment, simulation, navigation, and assembling purposes. A workday of an elevator service technician of OTIS Elevator Company is investigated, to define a problem. The

research indicates that troubleshooting is one of the most time-consuming tasks on a day. Modern OTIS Elevator systems become more reliable, which reduce the amount of repeating failures and makes it harder for service technicians to learn by doing. A systematic approach and communication skills are become more and more essential to easily find the cause. A technician consults an expert by telephone, when the technician cannot think of any reason. The problem is: *'How to support the undergraduate service technician to solve a failure faster?'*

The ability to exchange experiences and retrieve measurements from the past makes Fluke Connect an interesting solution to solve the defined problem partially. Fluke Connect is an application for the mobile phone and introduced in May, 2014. The application manages measurements and links these measurements to components of the workplace. In addition, the exchange of measurements and communication between technicians is simpler. A technician can compare a measurement result with a previous measurement, to determine easily if a measurement is correct.

The Fluke Connect system does not replace the expert. The knowledge of the team of technicians and the OTIS' engineers compared is much greater than just the information inside an application database. To solve unknown and irregular failures faster, experts should be more involved in the workplace. Augmented Reality is added to the system, to involve the expert virtually to the problem from a distance. The expert can easily view the workplace of the technician, and appends virtual comments to the real world. The senses of the expert are almost fully immersed. Thereby communication is easier and troubleshooting becomes faster.

The hypothesis that Augmented Reality supports the technician to solve failures faster is reflected to an invented system design. The system design presents a futuristic concept based on a smartglass

(an AR-glass based on the Google Glass and other smartglasses) and a tablet. With this system, a technician finds components and devices in a workplace more easily, places virtual (failure) notes to communicate more effortlessly and starts a virtual chat with experts to retrieve a cause faster. Hand gestures and a touchpad are the user-interfaces of the system. An operational scenario is illustrated in chapter 4.7 and confirms the formulated hypothesis. Further research, evaluate the design and developing a prototype for example, is needed to test the hypothesis quantitatively.

Introduction

De Augmented Reality technologie is de afgelopen jaren in een stroomversnelling geraakt door de komst van mobiele telefoons, tablets en andere hand-held apparaten. De grote meerderheid kent Augmented Reality voornamelijk als marketing instrument, door het verrijken van affiches, posters en tijdschriften met een extra informatie-laag. Het Nederlandse bedrijf Layar is marktleider in deze branche en heeft haar merknaam succesvol gekoppeld aan deze vorm van Augmented Reality. Futuristische ideeën over wat AR in de toekomst nog meer zou kunnen bieden zijn er volop. Wat zijn de mogelijkheden van Augmented Reality en waar staan we nu? Zijn industriële toepassingen mogelijk? Wat zijn de randvoorwaarden? In het hoofdstuk *Technology Research* wordt de ontwikkeling en de mogelijkheden van de techniek uiteengezet. Daarnaast wordt in kaart gebracht welke ontwikkelingen er de komende decennia waarschijnlijk gaan plaatsvinden.

Het onderzoek wordt uitgevoerd in opdracht van Benchmark Electronics en de Universiteit Twente. Benchmark Electronics is een *original design manufacturer* gevestigd in Almelo. Als ODM ontwikkelt Benchmark bijvoorbeeld voor Fluke Corporation haar scopemeters. Benchmark Electronics wil op de hoogte blijven van de laatste technologische ontwikkelingen. Als integrator is het bedrijf benieuwd naar de mogelijkheden van Augmented Reality. Benchmark ziet graag een uitgewerkte toepassing van deze technologie, zodat het bedrijf potentiële klanten kan enthousiasmeren.



Figure: Augmented Vision. Left the Google Glass, right the VISOR from the science fiction series StarTrek

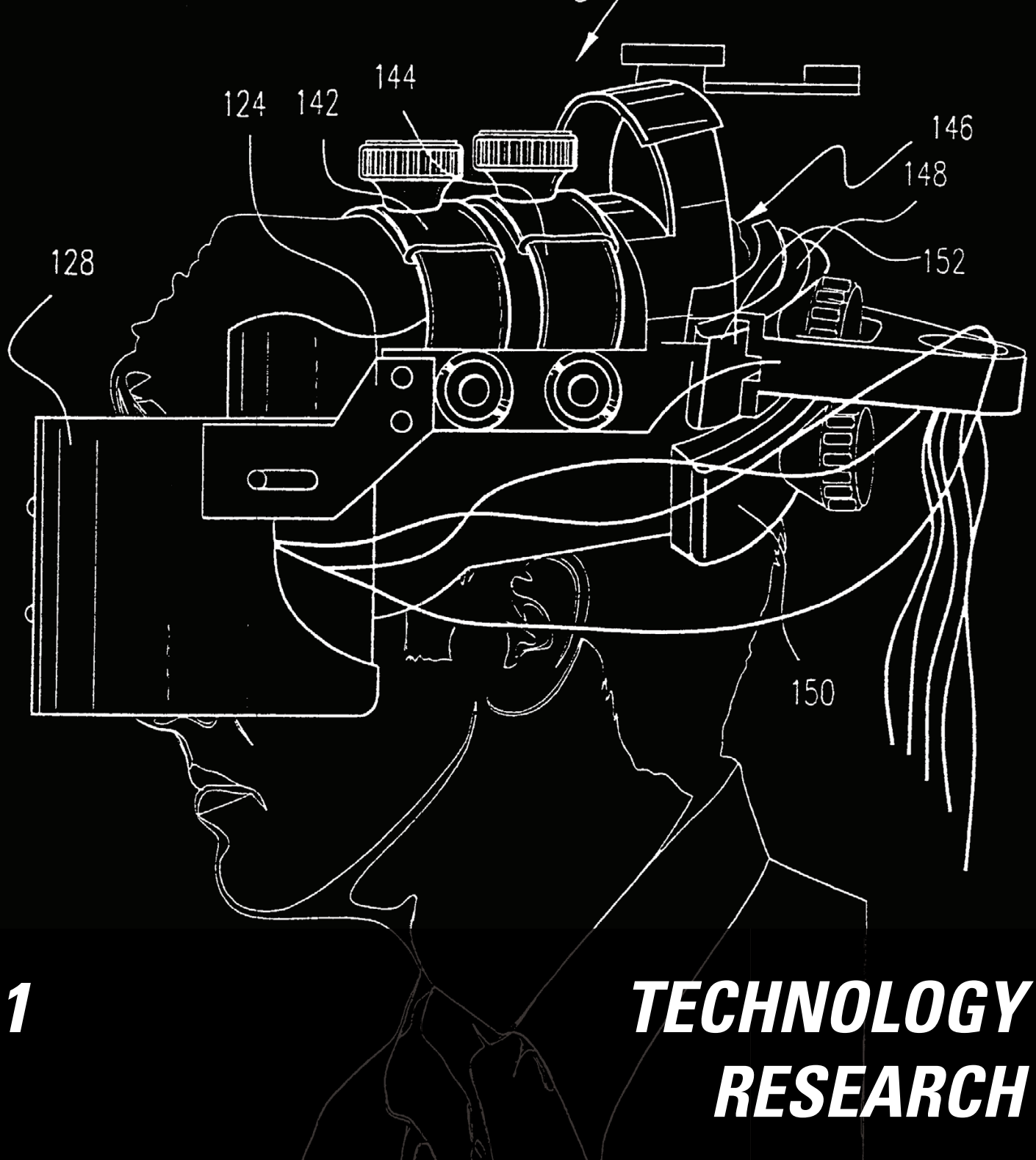
Benchmark heeft contact met de ontwerpstudio TWNKLS uit Rotterdam om ideeën uit te wisselen. TWNKLS ontwerpt, produceert en implementeert Augmented Reality applicaties. TWNKLS wil haar afzetmarkt verbreden en verwacht interessante mogelijkheden in de onderhoudssector.

Fluke is mede geïnteresseerd naar de ontwikkelingen van AR, om haar producten in de toekomst mogelijk intelligenter te maken. Fluke heeft een uitgebreid netwerk van eindgebruikers om haar producten te evalueren en ziet problemen rondom het gebruik van scopemeters. Laagopgeleide monteurs ondervinden problemen bij het oplossen van een storing en laten de scopemeter links liggen. Het bedrijf zoekt naar mogelijkheden om deze knowledge-gap te dichten. Fluke wil zich gaan richten op een tool dat naast nauwkeurige meetdata ook het onderliggende probleem kan onderscheppen, zodat iedereen storingen kan oplossen. Een omschrijving van het bedrijf Fluke is uiteengezet in het hoofdstuk *Fluke Corporation*.

De opdracht wordt uitgevoerd voor de Universiteit Twente te Enschede ter afronding van de bachelor Industrieel Ontwerpen.

Eén van de vele eindgebruikers is de liftmonteur. De liftmonteur is werkzaam de grootste liftfabrikant wereldwijd; OTIS Elevator Company. De liftmonteur werkt zelfstandig en heeft een groep van collega's waar problemen en oplossingen worden gedeeld. Collega's nemen regelmatig contact met hem op, omdat hij een expert is binnen het team en de scopemeter succesvol weet in te zetten. Omdat OTIS de storingsduur van liften wil minimaliseren, heeft OTIS mogelijk interesse in een product dat dit kan bewerkstelligen. In *User Research* wordt de liftmonteur beschreven en zijn taken en strategieën geanalyseerd. Het hoofdstuk eindigt met een heldere definitie van het probleem.

Het hoofdstuk *System Design* geeft een *proof of concept* van een Augmented Reality systeem dat een oplossing biedt voor het probleem. Een programma van eisen definieert waar het product aan zal moeten voldoen. Het hoofdstuk sluit met een operationeel scenario waarin de werking en bediening van het systeem bondig wordt beschreven. De eisen volgen uit het techniek- en gebruiksonderzoek.



1

***TECHNOLOGY
RESEARCH***

1.1 What is Augmented Reality?

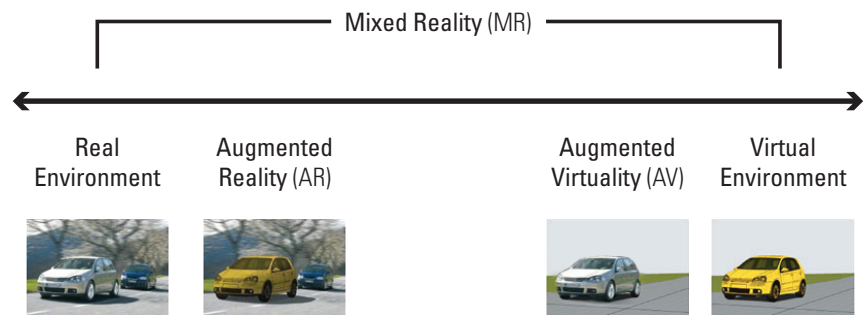


Figure 1.1: Reality-Virtuality continuum by Milgram & Kishino

Augmented Reality is een hypermoderne technologie die digitale informatie toegevoegd aan de werkelijke wereld. Deze Realiteit-Virtualiteit continuüm is oorspronkelijk bedacht door Milgram & Kishino in 1994 en spant tussen de werkelijke wereld en de virtuele wereld. Het gehele spectrum tussen deze twee werelden is gedefinieerd als Mixed Reality. Virtual Reality dompelt de gebruiker volledig onder in een virtuele wereld, in tegenstelling tot Augmented Reality dat de werkelijke wereld verrijkt met virtuele elementen. Deze virtuele objecten worden in real time op de werkelijke wereld geplaatst [Furht, 2011]. Volgens Azuma, een AR systeem:

- Combineert werkelijke en virtuele objecten in een werkelijke omgeving
- Registreert werkelijke en virtuele objecten met elkaar
- Is interactief, in real-time en in drie dimensies

Deze virtuele objecten worden weergegeven in het gezichtsveld van de gebruiker en helpen hem bij het uitvoeren van een taak. Een voorbeeld: Augmented Reality helpt een monteur bij het installeren van kabels in een vliegtuig. De monteur hoeft niet steeds zijn gezichtsveld te switchen tussen handleiding en kabels, omdat informatie uit de handleiding geprojecteerd wordt op de kabels. Veel onderzoek is gericht op het verbeteren van de samensmelting tussen virtuele en werkelijke beelden. In het afgelopen decennium is het onderzoeksgebied

verbreed en wordt er ook gekeken naar andere zintuigelijke versmeltingen.

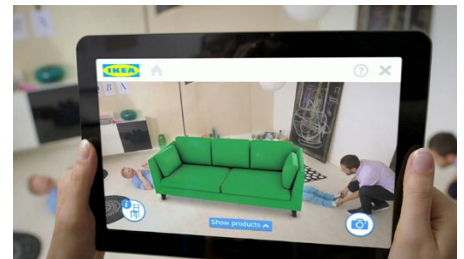


Figure 1.2: IKEA Augmented Reality Catalogue



Figure 1.3: Volkswagen MARTA

1.2 History



Figure 1.4: Patent of the Sensorama in 1962

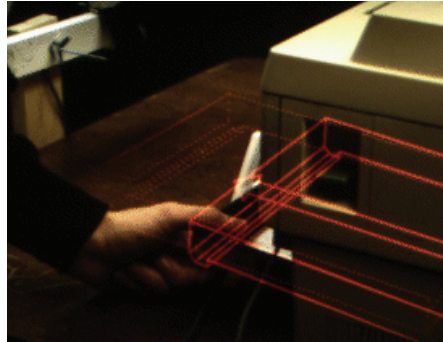


Figure 1.5: KARMA - Maintenance for laser printer



Figure 1.6: Digidogs example - improved merging

De eerste ideeën over Augmented Reality stammen uit de jaren '50 van de vorige eeuw. Uitvinder Morton Heilig ontwierp een prototype van de Sensorama; een machine die een unieke bioscoopervaring genereert door alle zintuigen over te nemen [Fuhrt, 2011] [Sung, 2011]. Helaas werd het product geen commercieel succes vanwege de hoge productiekosten van de bijbehorende films. Figuur 1.7 geeft de patentillustratie van de Sensorama simulator weer.

Aan het einde van de jaren '60 bedacht Sutherland de eerste *head-mounted display*. Een head-mounted display, of HMD, is het belangrijkste apparaat voor AR en VR toepassingen. Sutherland ontwikkelde een *optical see-through HMD* en projecteerde daarmee een virtuele kubus in de werkelijke wereld. Ondanks zijn inventieve idee was de grafische weergave nog erg beperkt. Het apparaat was daarnaast lomp en groot. In de jaren erna werden voor het eerst mobiele apparaten, zoals de Sony Walkman, op de markt geïntroduceerd.

Caudell & Mizell gebruikten tien jaar later voor het eerst de term 'Augmented Reality'. AR werd gebruikt om monteurs bij Boeing Corporation te helpen bij het aansluiten van vliegtuigkabels [Furht, 2011] [Azuma, 1997]. De monteurs hoefden niet langer de informatie te vertalen van grote houten borden (met montage instructies), maar konden direct aan de slag met behulp van een HMD [Rauterberg, 1997].

De eerste werkende AR-opstelling voor de US Air Force [Rosenberg, 1991] genaamd

Virtual Fixtures, leidde de gebruiker naar specifieke tips tijdens het uitvoeren van een taak. Het toonde daarmee als eerste de verbeteringen aan op het gebied van menselijke prestaties, het hoofddoel van alle AR-toepassingen in de installatie- en onderhoudssector.

In 1993 ontwikkelde Feiner e.a. KARMA (Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance) om het onderhoud van een laser printer uit te leggen.

Het prototype gebruikte een HMD en verschillende 3D-trackers, vastgemaakt aan kenmerkende componenten van de printer [Feiner, 1993]. Figuur 1.5 geeft een voorbeeld van de taak 'verwijder papierlade'.

In de jaren erna werd meer onderzoek gedaan om de synchronisatie van virtuele en werkelijke objecten te verbeteren. Ook de weergave van de objecten werd realistischer door het toevoegen van *pictorial cues* [Wickens, 2003]. Een hedendaags voorbeeld is weergegeven in figuur 1.6.

Aan het einde van de jaren '90 werd de ARToolKit uitgebracht door de University of Washington, oorspronkelijk ontwikkeld door Kato. De ARToolKit is een computer-tracking-bibliotheek die virtuele objecten aanbrengt op de werkelijke wereld. Het loste daarmee twee grote problemen op: het tracken van het gezichtspunt van de gebruiker en het oriënteren van virtuele objecten. Vanaf dat moment werd Augmented Reality algemeen gezien als een afzonderlijk onderzoeksgebied. De

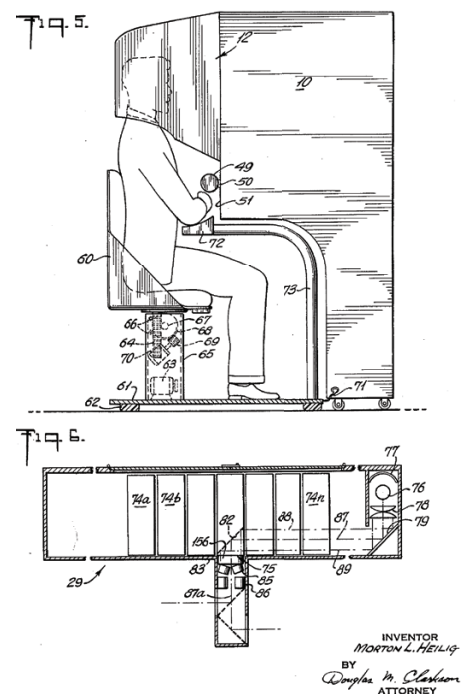


Figure 1.7: Patent of the Sensorama in 1962

leidende internationale wetenschappelijke conferentie van AR, genaamd ISMAR, is opgericht in 1998.

De technologie die AR mogelijk maakt, is het afgelopen decennium gigantisch verbeterd. Augmented Reality evolueerde van marker-based (zoals de ARToolKit) naar markerless (zoals de D'Fusion van T-Immersion Corp.). Daarnaast is de markt van smartphones en tablets in de afgelopen jaren gigantisch gegroeid. Deze apparaten komen met een indrukwekkende hoeveelheid sensoren om de omgeving waar te nemen (gyroscop, GPS, NFC) en maken AR op deze manier toegankelijk voor het grote publiek. Voorbeelden zijn Layar en Wikitude.

1.3 Enabling Technologies

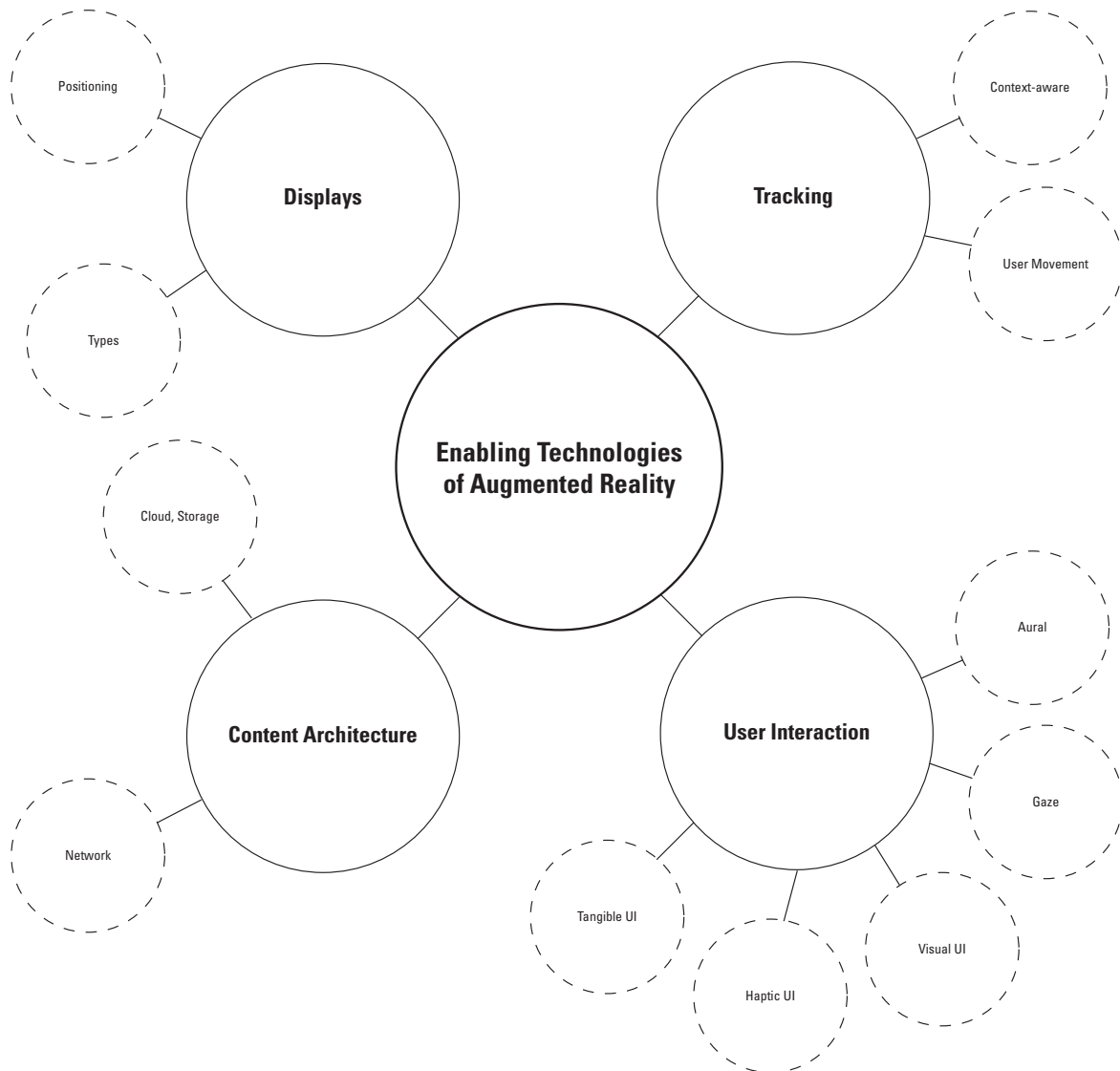


Figure 1.8: Map of technology-dependencies to bring Augmented Reality to life

Om een verrijkte wereld te creëren moet het systeem om te beginnen zijn omgeving *waarnemen*. Daarna *interpreteert* de technologie zijn waarneming met behulp van data uit een (online) database. Het *genereert* kunstmatige objecten en geeft het weer op een display. Een gebruiker kan de wereld *manipuleren* door te interacteren met de technologie. De interfaces tussen technologie en de wereld beschrijven de cruciale vereiste van technologie om AR mogelijk te maken. Een beperking in rekenkracht beïnvloedt direct de beleving van de gebruiker; een vertraging wordt

opgemerkt en de echtheid van de verrijkte wereld stort in.

Omdat Augmented Reality nog niet volwassen is, zijn standaarden en conventies nog steeds in ontwikkeling. Verschillende wetenschappelijke artikelen classificeren de AR-technologie op haar eigen manier. De meest complete beschrijving voor dit doel wordt gegeven door Krevelen & Poelman en wordt gebruikt in dit rapport. De Engelse termen worden gebruikt, om verwarring te voorkomen.

1.3.1 Displays

Het display brengt de computer-gegenereerde artefacten naar de werkelijke wereld. Deze displays zijn op te delen in verschillende soorten die corresponderen met de menselijke zintuigen. In het verleden is het AR-onderzoek voornamelijk beperkt gebleven tot de ontwikkeling van visuele displays. De meeste AR-producten vandaag te dag verkrijgbaar zijn daarom ook visuele displays. Naast visuele displays, zijn er aural (geluid) en haptic (tast) displays. Reuk- en smaak-displays komen zeer weinig voor en worden niet behandeld.

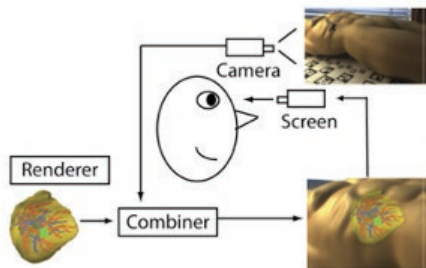


Figure 1.9: Video see-through display set-up

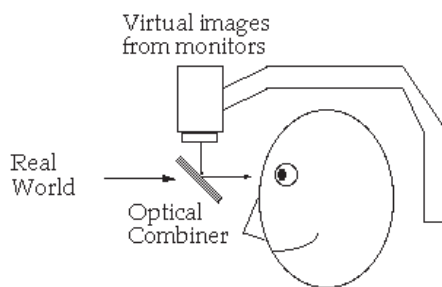


Figure 1.10: Optical see-through display set-up

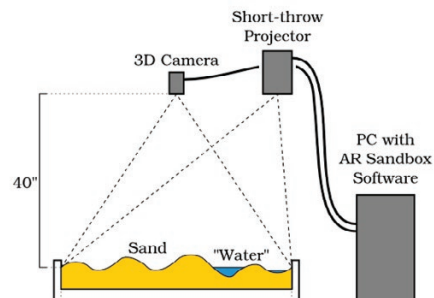


Figure 1.11: Projection set-up

Aural displays

De meest bekende aural displays zijn de luidspreker en de koptelefoon. Een ruimte met twee of meer luidsprekers creëert een natuurlijkere geluidsbeleving.

Haptic displays

Tactiele en haptische displays zijn in ontwikkeling. De AIREAL ontwikkeld door Disney Research is een voorbeeld van een veelbelovend haptic display. Het creëert levendige tastbare sensaties in de lucht [Sodhi, 2013], waarbij het dragen van een fysiek apparaat is niet nodig is. Gebruikers kunnen virtuele objecten voelen en texturen waarnemen in de open lucht. Het apparaat genereert luchtwervelingen (m.a.w. vortexes) en mikt deze wervelingen naar een specifiek punt doormiddel van een gestuurde flexibele luchtpijp. Figuur 1.12 demonstreert de werking van het apparaat.

Visual displays

Krevelen & Poelman beschrijven drie verschillende soorten visuele displays voor AR-doeleinden:

- Optical see-through
- Video see-through
- Projection

Een video see-through display combineert videobeelden van de werkelijke wereld (door deze te filmen met een camera) met videobeelden van de virtuele objecten, gegenereerd door de computer. Deze aanpak toont gelijkenissen met virtual reality displays, zoals de Oculus Rift. Een optical see-through apparaat

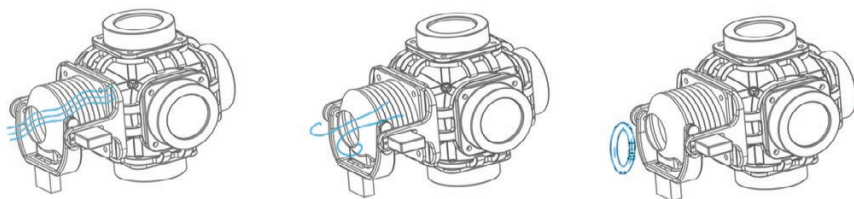


Figure 1.12: AIREAL haptic device by Disney Research

projecteert de videostream van virtuele objecten op een transparant glas of een transparante lens. De Google Glass is een voorbeeld van een HMD met een optical see-through display.

Projection displays creëren een 2D- of 3D-visualisatie in de ruimte (m.a.w. spatial). De ontwikkeling van holografische projectoren staat in zijn kinderschoenen, maar 2D-projectoren in broekzakformaat zijn momenteel verkrijgbaar.

Daarnaast zijn de displays opgedeeld naar positie. Head-mounted displays zijn geplaatst bij het hoofd. Door de opkomst van smartphones en tablets zijn handheld displays de meest gebruikte displays voor AR-applicaties. Een ruimtelijk-gepositioneerd display (spatial) gebruikt een optical-see through of projection techniek en leent zich goed voor grote presentaties. De interactiemogelijkheden

zijn echter beperkt. Een head-up display in cockpits van vliegtuigen en dashboards van auto's is een vorm van een spatial optical see-through display. Een overzicht van head-mounted displays is gegeven in appendix B.

Optical see-through

De optical see-through techniek projecteert beelden op een vlak of gekromd scherm en is voornamelijk ontwikkeld voor head-mounted displays [Mirza e.a., 2012]. De techniek wordt grofweg opgedeeld in twee subgroepen: curved mirror en waveguide. De waveguide techniek lijkt de meest veelbelovende techniek, omdat het niet afhankelijk is van grote lenzen of elektronica. De optical see-through techniek is relatief goedkoop, parallax-vrij (geen translatie tussen virtuele en werkelijke beelden), veilig en de techniek beïnvloedt de resolutie van de werkelijke wereld niet.



Figure 1.13: The Google Glass. Probably the most elegant head-mounted display now available [10]

Zodra de stroom uitvalt, kan het display nog steeds gebruikt worden. De helderheid en het contrast van zowel de werkelijke als de virtuele wereld wordt aangetast, waardoor de techniek minder geschikt is voor gebruik buitenshuis. Daarnaast is de field-of-view en de eye motion box beperkt. De kleurafwijkingen nemen toe met de hoek van inval, waardoor de field-of-view per definitie een maximum heeft. De Google Glass bevat een waveguide optical see-through display.

Retinal scanning display

Naast displays die beelden projecteren op een scherm zijn er ook schermen die beelden projecteren op het netvlies van het oog. Deze techniek heeft geen helderheid en field-of-view problemen. Daarnaast zijn hoge resoluties ook mogelijk [Innovega, 2014]. Ondanks alle verschillende type optical see-through displays is het merendeel nog steeds in ontwikkeling.

Video see-through

De video see-through techniek combineert een opname van een videocamera met videobeelden gegenereerd door een computer. Omdat beide signalen digitaal zijn, is het vereffenen van de helderheid en het contrast van de twee beeldsignalen eenvoudiger. In een omgeving met veel

omgevingslicht, zoals in de open lucht, is het egaliseren van helderheid en contrast nodig om alle beelden zichtbaar te maken. Daarnaast biedt de video see-through techniek de mogelijkheid om faseverschillen tussen de twee signalen weg te nemen. De verrijking wordt daarmee als realistischer ervaren. Nadelen zijn de lagere resolutie van de werkelijke wereld, desoriëntatie door de afstand tussen camera en oog en een beperkte field-of-view. Het laatste nadeel is de gefixeerde brandpuntafstand van het systeem. Accommoderen van het

oog om objecten dichtbij scherp te zien is niet mogelijk; de camera heeft namelijk een vast brandpuntafstand.

Projection

Het projectie display is niet dicht bij het oog geplaatst wat problemen met een vast brandpuntafstand voorkomt. Kleine, energiezuinige projectoren zijn klaar voor productie; de PicoP van MicroVision is hiervan voorbeeld. Het apparaat is erg klein en past in bijna ieder mobiel apparaat. Een projectie display moet opnieuw

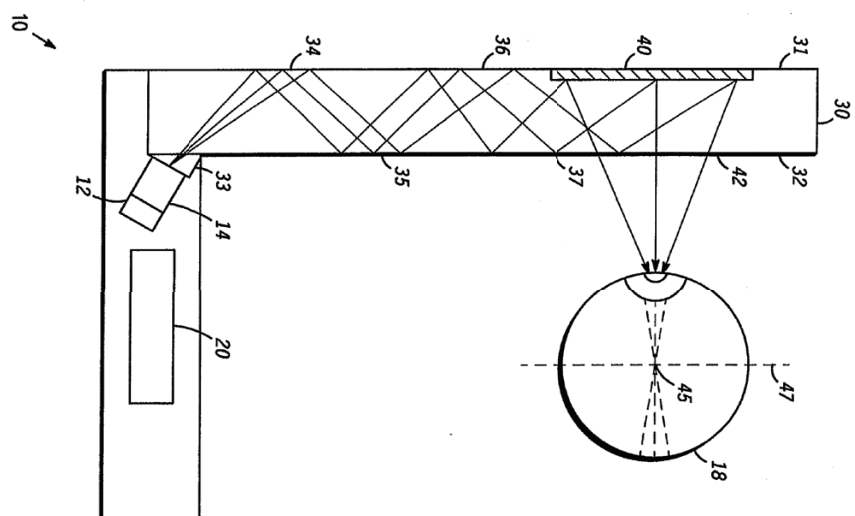


Figure 1.14: Patent of retinal scanning display by Innovega

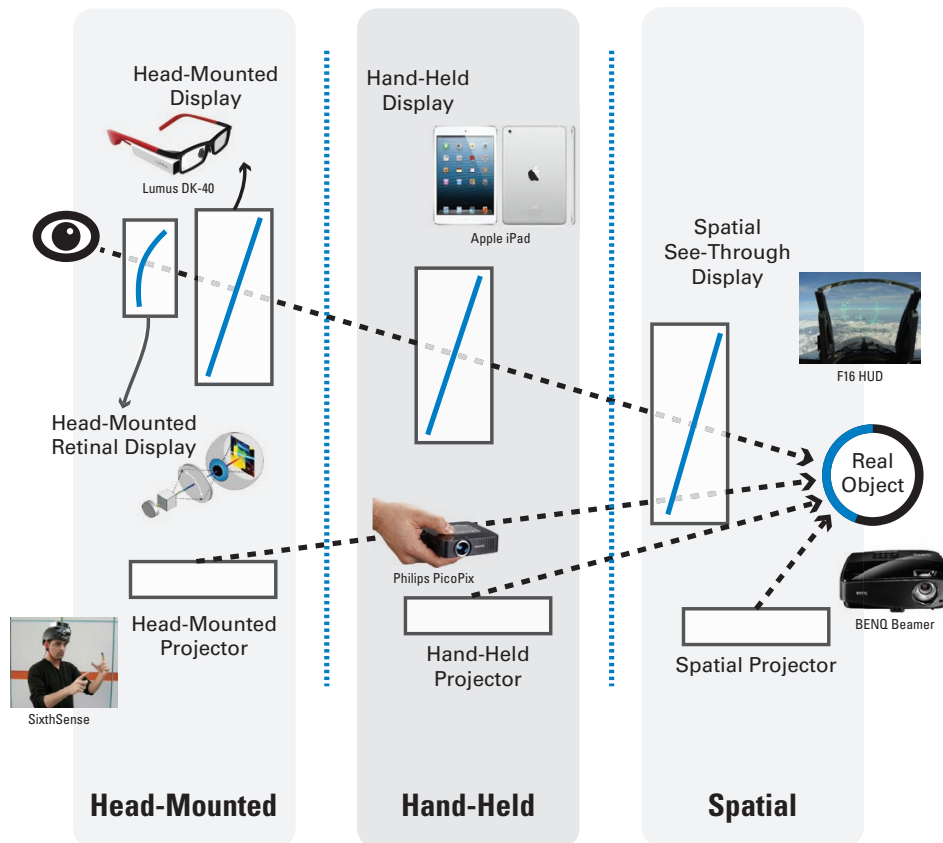


Figure 1.15: Visual display positioning [Bimber & Raskar, 2005]

gekalibreerd worden als de afstand tussen projector en projectieoppervlak verandert. De lage helderheid van de geprojecteerde beelden maakt binnenshuis gebruik alleen mogelijk. Een AR-toepassing met een projectie display is weergegeven in figuur 1.16.

Positioning

Displays gemonteerd aan het hoofd worden ingedeeld in de categorieën head-mounted displays, virtual retinal displays en head-mounted projective displays. Nadelen van deze configuratie is de beperking in grootte en gewicht, waardoor veel displays aangesloten zijn op een externe (grafische) computer. De Vuzix M2000AR is een display waarbij een externe computer noodzakelijk is. De Google Glass heeft een ingebouwde minicomputer. In de laatste jaren is de markt van head-mounted displays enorm gegroeid. De meeste modellen worden op de markt gebracht in een experimentele fase.

Smartphones, tablets, pda's en andere mobiele computers zijn het afgelopen decennium toegankelijk geworden voor de gewone man. De apparaten hebben een indrukwekkende set aan sensoren om de omgeving en bewegingen te tracken. De Apple iPad is waarschijnlijk het meest bekende tablet nu verkrijgbaar en heeft een

3-assige gyroscoop, versnellingsmeters, luidsprekers, een microfoon, camera, een lichtsensor en een krachtige processor.

Een head-up display (HUD) in een (militaire) cockpit is een vorm van spatial optical see-through display. Zie figuur 1.15 voor een volledig overzicht van de positionering van visuele displays.

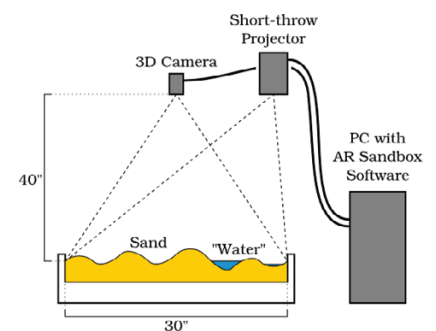
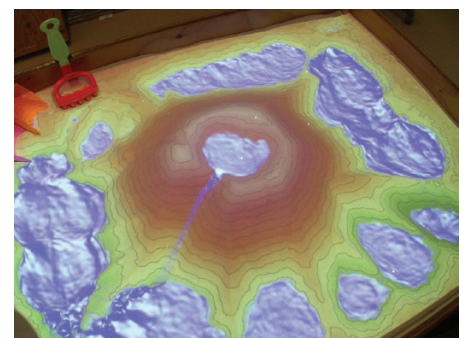


Figure 1.16: Augmented Reality Projection Sandbox by Kreylos

1.3.2 Tracking

Voordat beelden vervaardigd kunnen worden ter projectie op de werkelijke wereld, moet het systeem eerst zijn omgeving en de beweging van de gebruiker in kaart brengen. Soft- en hardware is noodzakelijk om de fysieke informatie te vertalen naar de digitale wereld. In (nog) veel gevallen moet de omgeving geprepareerd worden om AR mogelijk te maken. Het aanbrengen van markers (zwart-wit geblokte stickers bijvoorbeeld) maakt het herkennen van de omgeving technisch eenvoudiger. Een technische uitdaging is het correct blijven herkennen van de omgeving zodra deze verandert. Drift (de meting wijkt steeds verder af door de tijd heen) door bepaalde hardware componenten maakt o.a. het probleem complex.

Radio

Het plaatsen van actieve of passieve radio frequency identification chips (RFID) op locaties of onderdelen, maakt het mogelijk om objecten in de omgeving eenvoudiger te identificeren. Musea maken ook veelvuldig gebruik van deze technologie om de beleving van het museum te versterken [Motorola, 2012]. Voor het faciliteren van een draadloos netwerk in gebouwen, wordt veelvuldig gebruik gemaakt van de IEEE 802.11b/g standaard (WiFi). Deze groep WiFi-routers kunnen naast deze functie ook dienen als positie-trackers. Door de signaalsterkte te analyseren van verschillende routers kan de positie van de ontvanger worden bepaald [WiFiSLAM, 2010].

Inertia

Voorbeeld van traagheidsensoren zijn acceleratiemeters en gyroscopen. Tegenwoordig zijn mobiele apparaten standaard uitgerust met Inertial Measurement Units (IMUs) voor het bepalen de relatieve positie van het apparaat. Het bepalen van de absolute positie voor bijvoorbeeld navigatie is lastiger, omdat er gecorrigeerd moet worden op fouten ontstaan door drift.

General Positioning System

Om de absolute positie te bepalen in open ruimte is het General Positioning System zeer geschikt. GPS wordt veelvuldig toegepast in navigatieapparatuur zoals dat van TomTom. In stedelijke gebieden met hoge gebouwen of binnenhuis is GPS helaas in mindere mate bruikbaar. Doordat signalen worden gereflecteerd door gebouwen, ontstaat er een significante fout wat de nauwkeurigheid van de positiebepaling niet ten goede komt.

Optical

Een veelbelovende manier van tracken is optical tracking [Mills, 2012]. Door het analyseren van beelden van een camera kan de beweging of positie van de gebruiker worden bepaald. De oorspronkelijke manier is doormiddel van markers; binaire afbeeldingen worden in de werkelijke wereld geplaatst die corresponderen met een bepaalde positie. Door het analyseren van de beelden en het herkennen van de marker kan de positie van de gebruiker worden geïdentificeerd. Geavanceerde beeldherkenningsmethodes

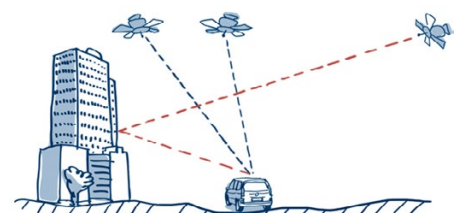


Figure 1.17: Drift error due to reflection GPS

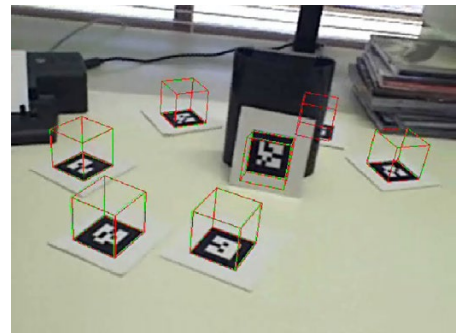


Figure 1.18: Multimarker Optical Tracking by VTT Finland

herkennen beelden zonder hulp van markers. Slimme en efficiënte algoritmes herkennen doormiddel van point clouds de beelden en kunnen op deze manier zonder markers de positie identificeren. Door een uitgebreide point cloud map te maken van een omgeving (SLAM) is het zelfs mogelijk om te navigeren, zonder tussenkomst van andere sensoren zoals GPS of traagheidssensoren [13thLab, 2014]. Er zijn verschillende softwareontwikkelaars bezig om deze beeldherkenningsmethodes te optimaliseren voor AR. Grote uitdaging is om de techniek zo efficiënt te maken dat deze continu actief kan zijn en gebruikt kan worden in draagbare apparatuur met beperkte rekenkracht (zoals de Google Glass). Een overzicht van beeldherkenningssoftware toegespitst op AR is vermeld in Appendix A. Metaio

ontwikkeld haar tweede versie van de AREngine waarvoor specifieke hardware is samengesteld om de analyse te versnellen.

1.3.3 User Interaction

Om te interacteren met de augmentatie is een interface tussen persoon en machine nodig. Klassieke interfaces tussen mens en machine zijn de muis en het toetsenbord. Omdat augmentaties naadloos worden geïntegreerd in draagbare systemen (bril, tablet etc.) zijn deze oude interfaces onhandig en moeilijk te hanteren. Daarnaast zijn deze klassieke interfaces ontworpen voor 2D grafische user-interfaces. Een voorbeeld hiervan is het WIMP model (Windows, Icons, Menus and Pointing). Dit model is minder geschikt voor gebruik in een werkelijke wereld met zes vrijheidsgraden. In de volgende paragrafen worden verscheidende alternatieven voor de muis en het toetsenbord gepresenteerd.

Aural UI

In het afgelopen decennia is spraakherkenning significant verbeterd in zowel snelheid als nauwkeurigheid [Google, 2013]. Zeker met toevoeging van een fall-back apparaat, zoals een toetsenbord, is spraakherkenning een geschikte kandidaat voor gebruikersinteractie. Daarnaast wordt met spraakherkenning de belasting op zintuigen beter verdeeld [Wickens, 2003]. De gebruiker volgt de visuele instructies gegenereerd door de augmentatie en kan deze aansturen met voice-commando's. De benodigde microfoon is geïntegreerd in de meeste mobiele apparaten.

Tangible UI

Apparaten als het toetsenbord en de muis zijn tastbaar en unidirectionaal. Ze communiceren maar in één richting en geven geen feedback. Onderzoek wordt gedaan naar tastbare interactie met papieren modellen. Door deze modellen, bijvoorbeeld visueel, te tracken kan op relatief eenvoudige wijze geïnteractueerd worden met de augmentatie [Park e.a., 2013] [Dias e.a., 2003].

Haptic UI

Haptische apparaten zijn tastbaar en bi-directionaal en worden verdeeld in kinaesthetic sense (kracht, beweging) en tactile sense (tast). Stuurwielen met force-feedback voor racespellen zijn een voorbeeld van kinaesthetic sense. De PHANTOM van GeoMagic is een input apparaat met zes vrijheidsgraden en wordt onder andere gebruikt voor teleoperatie. Voorbeeld van tactile sense zijn speciale handschoenen zoals de CyberTouch van CyberGlove. Door het plaatsen van buzzers in de vingertoppen wordt de tast-receptoren getriggert. Deze handschoenen worden voornamelijk toegepast voor virtual reality toepassingen en tracken met hoge nauwkeurigheid de bewegingen van de volledige hand.

Visual UI

Daarnaast is het mogelijk door de hand- en armgebaren visueel te tracken. Op deze manier kunnen er gebaren herkend worden. SixthSense maakt gebruik van visuele gebaarherkenning en onderscheid zeven verschillende gebaren. Vingertoppen zijn

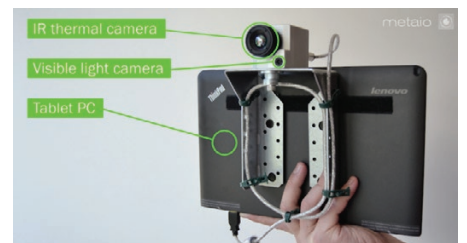
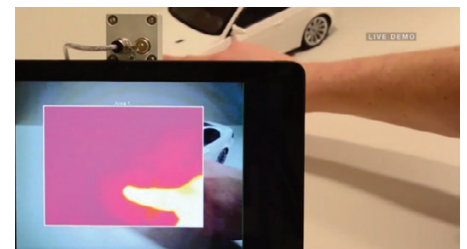


Figure 1.19: Thermal Touch

gemarkeerd om de beeldherkenning te verbeteren.

Metaio combineert in Thermal Touch een warmtecamera met een beeldcamera om gemakkelijker vingers en aanraakpunten te identificeren. Wanneer een vinger een oppervlak raakt, wordt een deel van de warmte van de vinger afgegeven op het voorwerp wat is te zien met de warmtecamera. Op die manier kan gemakkelijk(er) een hit worden onderscheiden van een false alarm. De AR-brillen van Meta combineert een dieptesensor met haar bril. Hierdoor is het mogelijk om gebaren te herkennen.

Eye Tracking

Een veelbelovende manier voor communicatie over en weer zonder tussenkomst van extra fysieke apparaten is doormiddel van eye tracking. Eye tracking is van oudsher ontwikkeld voor gebruikers met een fysieke beperking. Omdat deze groep niet een muis of toetsenbord kan bedienen, is eye tracking ontwikkeld om mens-machine interactie mogelijk te maken. Kumar e.a. hebben onderzoek gedaan om de nauwkeurigheid van eye trackers te verbeteren, zodat ze ook als serieus alternatief van de muis kan dienen. Eén van de eerste commerciële producten is de EyeTechDS. Er zijn ook brillen op de markt die met eye tracking technologie zijn voorzien, om bijvoorbeeld het gedrag van een winkelbezoeker te tracken [SensoMotoric Instruments, 2014].



Figure 1.21: EyeTracking Glasses by SMI

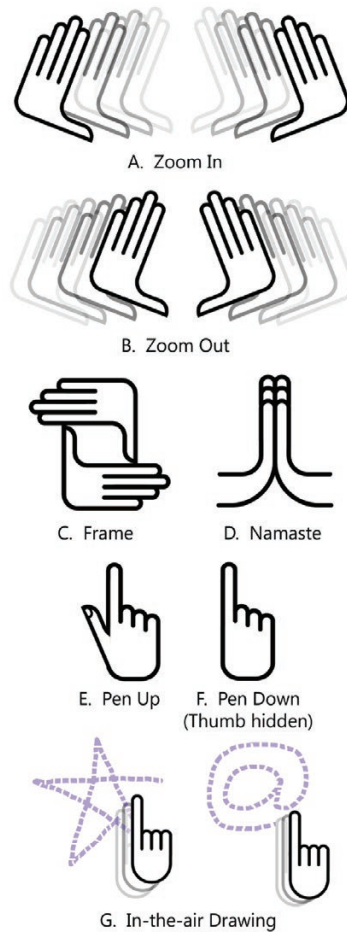


Figure 1.20: SixthSense

1.3.3 Information Management

Een succesvolle implementatie van AR is alleen realistisch indien de augmentatie inhoudelijk nuttig en van goede kwaliteit is. Het onderhouden en faciliteren van deze informatie is van succesbelang. Een netwerkstructuur en databases zijn nodig om informatie van tekentafel naar werkomgeving te verplaatsen. Indien de augmentatie beschikt over grote CAD-tekeningen, dient de rekenkracht verdeeld te worden over de verschillende onderdelen van het netwerk. Het optimaliseren van CAD-tekeningen voor AR-toepassingen blijkt echter niet eenvoudig [TWNKLS, 2014].

Helaas zijn er nog weinig tot geen artikelen over de informatie structuur van AR-toepassingen gepubliceerd. Desondanks valt of staat een AR-toepassing bij de inhoud daarvan; het komende decennia zal AR-onderzoek zich mogelijk verder toespitsen op de informatie architectuur.

Een eerste stap in de goede richting is gezet door Metaio. Het bedrijf heeft een platform ontwikkeld om augmentaties online, in the cloud, op te slaan en deze toegankelijk te maken in je eigen mobiele applicatie of in een publieke AR-browser. Om bestaande content (zoals een online productencatalogus bijvoorbeeld) sneller, goedkoper en gemakkelijker te koppelen aan de AR-wereld is connectar ontwikkeld door ZigBee.

1.4 Future Perspective

Ondanks de grote technologische ontwikkelingen van de afgelopen decennia op het gebied van AR en de omliggende technieken, staan veel vernieuwingen nog in haar kinderschoenen. Er zijn tal van concepten uitgewerkt op prototype niveau, maar weinig van deze systemen zijn daadwerkelijk uitvoerig getest en verder ontwikkeld. Of AR feitelijk bereikt wat het belooft (bijvoorbeeld lagere onderhoudskosten door foutreductie bij het doen van werkzaamheden) is in veel gevallen nog steeds een open vraagstuk. Het artikel van Wang e.a. uit 2013 geeft een overzicht van AR gerelateerde onderzoeken in de bouw van 2005 tot en met 2011. Het artikel deelt het AR-onderzoeksgebied op in vier subgroepen:

- Concept and Theory
- Implementation
- Evaluation
- Industry Adoption

Deze vier subgroepen worden verhelderd in figuur 1.22. Zoals blijkt uit figuur 1.22, zijn het totaal aantal evaluerende onderzoeken nog minimaal en zijn er nog geen artikelen gepubliceerd over serieuze industriële toepassingen van AR. De brug tussen wetenschappelijke onderzoeken en industriële acceptatie moet nog worden geslagen. Krevelen & Poelman erkennen vier technologische pijlers die de ontwikkeling van industriële toepassingen nu nog beperken.

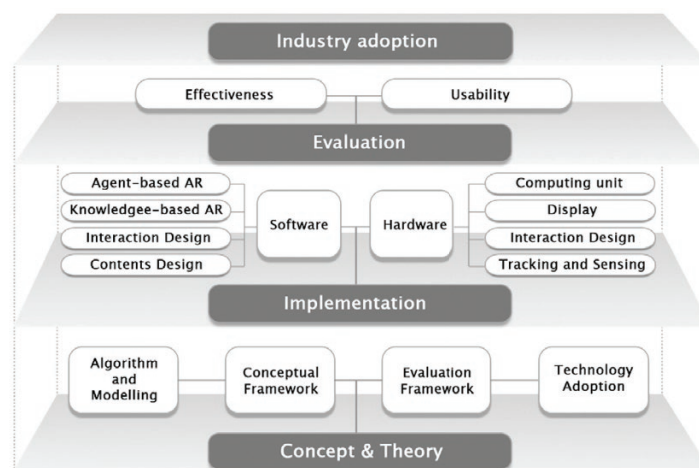


Figure 1.22: AR architecture, Wang e.a.

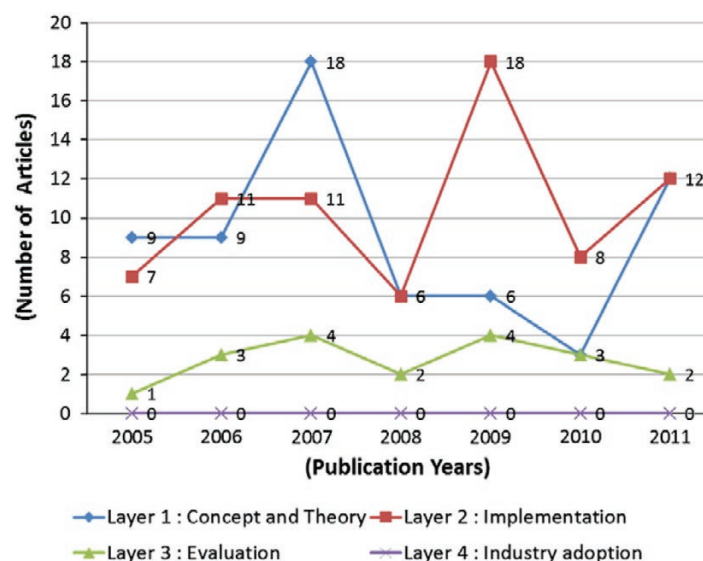


Figure 1.23: AR publications per subject in time, Wang e.a.

1.4.1 Limits

Portability

Voor een natuurlijke ervaring van AR, is het van belang dat AR-systemen naadloos integreren met de gebruiker. Prototype-opstellingen in laboratoria gebruiken apparaten die fysiek verbonden zijn met krachtige computers. De ruimte waarin gebruikers kunnen handelen is dan beperkt. Om AR ook toepasbaar te maken in dagelijkse situaties buitenshuis is de ontwikkeling van lichte en krachtige tablets en brillen essentieel.

Een voorbeeld van een augmented-reality bril die uitblinkt op het gebied van sensoren, field-of-view, rekenkracht, draagcomfort en uitstraling is de Meta SpaceGlass. Het apparaat heeft onder andere een optisch display voor beide ogen, een dieptesensor en ziet er eveneens fraai uit. Helaas worden berekeningen nog steeds uitgevoerd door middel van een externe zakcomputer die met één snoer verbonden is met de bril. Daarnaast ontwikkelt Meta de AEngine2; de eerste AR-engine die hardware en software combineert wat resulteert in een snelle, efficiënte en kleine module die alle essentiële AR-taken op zich kan nemen. Voor rekenintensieve applicaties maakt TWNKLS gebruik van Windows Tablets, omdat deze krachtiger zijn dan de tablets van Apple.

Tracking and Autocalibration

Er zijn tal van manieren om de omgeving en de gebruiker te identificeren. Beeldherkenning wordt gezien als de meest veelbelovende techniek. De uitdaging is

om hardware en software te ontwikkelen wat het tracking-aspect van AR onder haar hoede neemt. De AEngine2 is hiervan een concreet voorbeeld. TWNKLS noemt dat de eerste stap in tracking, herkenning, de meest essentiële en complexe stap is.

Overload and Over-Reliance

Vanuit een human factors oogpunt is het belangrijk gebruikers niet te overladen met informatie om informatie-clutter te voorkomen. Daarnaast dient de gebruiker een goed mentaal model te ontwikkelen van de AR-toepassingen en weet hebben wanneer de techniek mogelijk de gebruiker in de steek laat. Bij BMW zijn richtlijnen opgesteld voor het ontwerpen van AR-toepassingen in auto's. [Bengler & Passaro, 2006]

Social Acceptance

Augmented Reality heeft algemene bekendheid verworven door de vele entertainende en culturele applicaties. De techniek heeft echter nog een flinke weg te gaan voordat ze ook geaccepteerd wordt in professionele toepassingen waarin nauwkeurigheid en bruikbaarheid een veel grotere rol spelen. Daarnaast zal invoering van AR-systemen verweer opleveren bij experts; specialistische monteurs kunnen dankzij de AR-techniek vervangen worden door goedkope arbeidskrachten.

1.4.2 Future Perspective

Tot slot noemt Wang e.a. hoofd onderwerpen waar het onderzoekerrein van AR in de komende 10 jaar zich mee bezig zal houden. Deze punten zijn



Figure 1.24: Meta SpaceGlasses, in een hip ontwerp om sociaal gemakkelijker geaccepteerd te worden

hieronder geciteerd.

- Standaardisatie van mobiele communicatie protocollen van dataformaten tussen mobiele AR systemen.
- Een mobiel AR-systeem waar meerdere gebruikers synchroon en asynchroon gebruik van kunnen maken.
- Het ontwikkelen van een softwarestructuur (service-oriented architecture) om de huidige softwarestructuur (server-client communication) aan te vullen.
- Beeldherkenning, image mining (zoeken naar verbanden in afbeeldingen) en het gebruik van slimme (online) bronnen om intelligentere AR-toepassingen te maken.
- Natuurlijke mens-AR interactie, door de toevoeging van gesture recognition (herkennen van handgebaren) en spraaksturing.
- Een gebruiksvriendelijke tool om de inhoud van AR-applicaties uit te breiden of te wijzigen.

1.5 Applications

Level 0	Physical world hyper linking A simple link from the physical world to the virtual world without involving any real time rendering and graphics.
Level 1	Marker-based AR 2D marker based on PC and webcam. Level 1 AR is very challenging for mobile use due to the lack of robustness of markers and computing power
Level 2	Markerless AR There is no requirement for markers for registration and tracking methods. This tracking is more robust, enabling the realization of mobile AR.
Level 3	Augmented vision Which is currently being developed

Table 6.1: Classification of AR applications

Hieronder worden een reeks voorbeelden beschreven van (mogelijke) professionele toepassingen van AR. Wang e.a. onderscheid vier implementatieniveau's van AR. De niveau's zijn weergegeven in tabel 6.1. Ieder voorbeeld wordt gespecificeerd aan de hand deze classificatie. De voorbeelden dienen als naslagwerk voor verder onderzoek. Er zijn tal van voorbeelden gepubliceerd, waarvan de onderhoudstoepassingen het meest interessant zijn voor dit onderzoek. Veel studies laten zien wat technisch mogelijk zou kunnen zijn, maar beschouwen het probleem niet vanuit het perspectief van de gebruiker.

Stairlift Configurator

Een concreet en werkend voorbeeld van een professionele bedrijfstoel is de Stairlift configurator voor trapliften fabrikant en leverancier Otolift. De Stairlift configurator is een applicatie voor op een Apple iPad tablet, waarmee een vertegenwoordiger van Otolift een klant kan helpen bij het configureren en kiezen van zijn of haar toekomstige traplift. De vertegenwoordiger maakt een opname van de trap en stuurt deze gegevens naar een server. De server vertaalt binnen een uur de opname naar een CAD-model van de trap. Met dit CAD-model kan de vertegenwoordiger een live-visualisatie maken van een gekozen traplift op de klant haar eigen lift. De traplift kan verder gespecificeerd worden naar de wensen van de klant. Zodra alles naar wens is, kan het CAD-model inclusief alle configuraties opgestuurd worden naar de werkplaats van Otolift. Vanaf hier kan direct

begonnen worden met productie van de specifieke traplift. De configurator behaalt hiermee twee optimalisaties. Ten eerste geeft het een visualisatie van de traplift in de praktijk. Mogelijke fysieke problemen worden op deze manier snel door de vertegenwoordiger of gebruiker gevonden. Daarnaast heeft de visualisatie een grotere overtuigingskracht in vergelijking met een productfolder. Ten tweede is het niet meer nodig om de trap in te meten; deze details zijn al te vinden in het CAD-model [TWNKLS, 2013]. Het product is volledig uitgewerkt en ontworpen vanuit een user-centered perspectief. De techniek is robuust en is te classificeren als Level 1 AR.

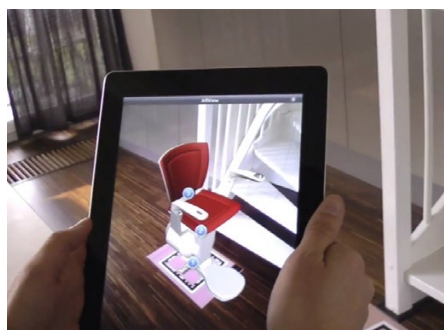


Figure 1.25 Stairlift Configurator for Otolift by TWNKLS

BMW Research Project

In één van BMW's lopende onderzoeksprojecten wordt Augmented Reality toegepast ter ondersteuning van onderhoudswerkzaamheden voor complexe technische innovaties in het voertuig. De onderzoeksgroep maakt gebruik van een AR-bril die draadloos verbonden is met een krachtige computer. Een vergelijkbaar



Figure 1.26: BMW AR Research Project

project wordt uitgevoerd door Volkswagen. Waarschijnlijk zijn deze projecten conceptueel. Uit de demonstratievideo's is af te leiden dat de projecten in te delen zijn als Level 2 AR.

Building Maintenance

Onderzoeksinstituut VTT uit Finland houdt zich onder andere bezig met 3D-tracking en Augmented Reality. Diverse video's zijn te vinden op de website van het instituut. Zie hiervoor de referentielijst. Naast Industry 4.0-mogelijkheden geeft het instituut ook een toepassing van AR voor gebouw onderhoud. Door met een tablet door het gebouw te lopen, kan locatie-specifieke informatie uit het BIM (Bouwwerk Informatie Model) worden geraadpleegd en van opmerkingen worden voorzien. Het Fraunhofer Instituut heeft zich eveneens



Figure 1.27: Building Maintenance application by VTT (left) and Fraunhofer IGD (right)

gestort op dit vraagstuk. Het project is conceptueel en in te delen als Level 3 AR.

Maintenance and Repair Instructions for Fuel Pump

Virtuele instructies worden toegevoegd aan de echte wereld. Met een verversfrequentie van bijna 60 Hz worden de virtuele tips zonder zichtbare vertragingen of misposities gepresenteerd. Tracking and recognition geschied doormiddel van een point-cloud van de brandstofpomp. De verrijking is daarmee gevoelig voor variatie in lichtomstandigheden. Het voorbeeld laat zien wat momenteel technisch mogelijk is. Er is sprake van Level 2 AR. [TWNKLS, 2013]



Figure 1.28: Maintenance and Repair Instructions by TWNKLS

An Augmented Reality Training Platform

Het Fraunhofer Instituut presenteert een trainingsplatform voor assembleer- en onderhoudsvaardigheden. Daarnaast is het mogelijk om contact te zoeken met een expert, via teleconsultation. Een expert kan meteen meekijken en aanwijzingen geven. Het systeem is tevens geëvalueerd aan de

hand van een regulier trainingsprogramma. Het AR-trainingsprogramma had significant minder onopgeloste problemen in vergelijking met het reguliere trainingsprogramma. Het concept is een voorbeeld van Level 2 AR. [Olbrich e.a., 2013] [Webel e.a., 2013]

Applus+ RTD, Weld Inspection

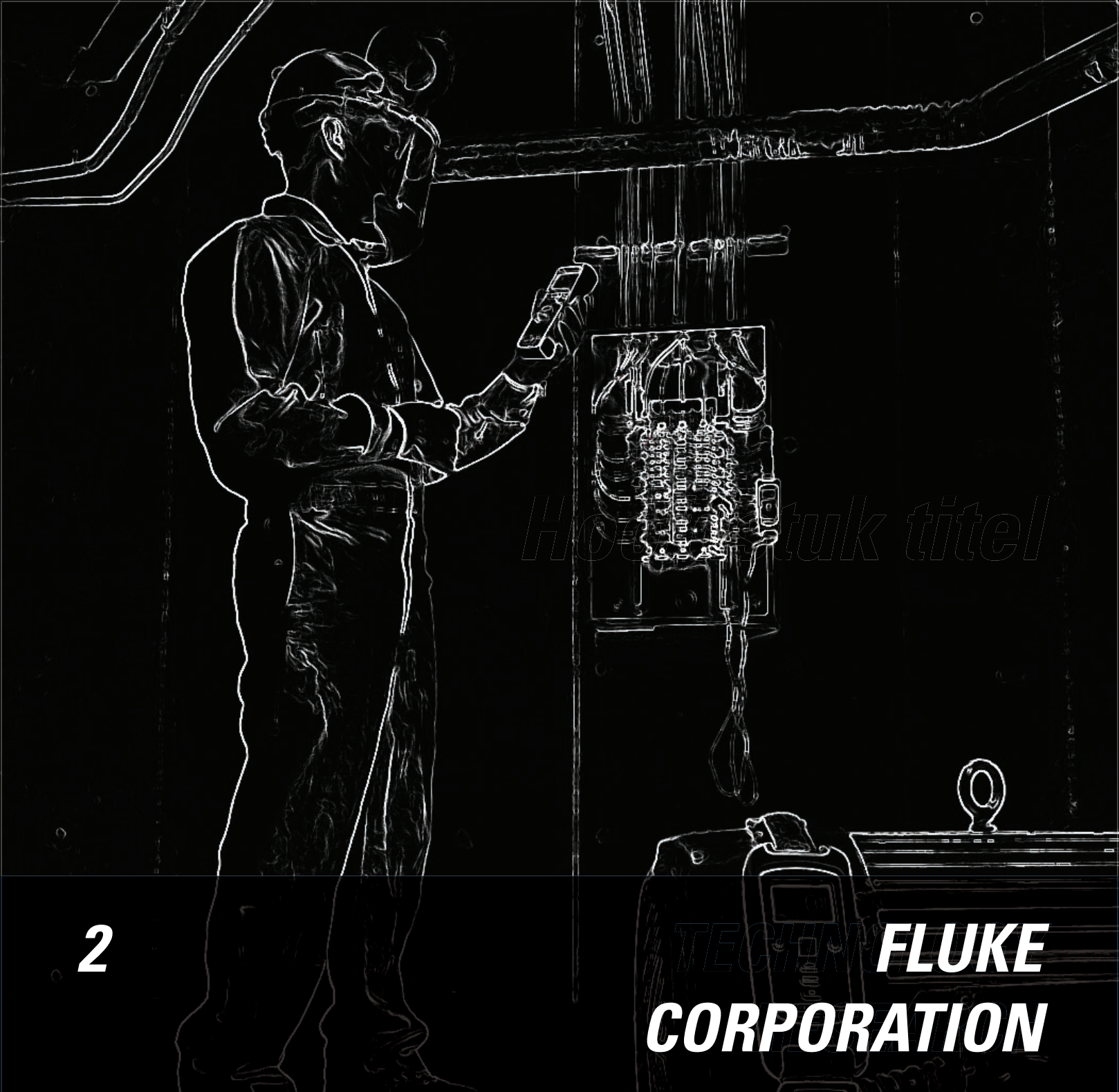
Het vertalen van een plot met lasdefecten naar een 3D-afbeelding met lasdefecten die rechtstreeks over de gescande leiding wordt geplaatst. Dat maakt inspectie inzichtelijker en reduceert fouten bij de vertaalslag van plot naar leiding. Het product is volledig uitgewerkt en geïmplementeerd in de industriële omgeving. Er is sprake van Level 3 AR. [TWNKLS, 2014]



Figure 1.30: Applus+ RTD iPad application by TWNKLS to inspect weld



Figure 1.29: Training maintenance mechanics with Augmented Reality



Hoofdstuk titel

2

TECHNICAL **FLUKE**
CORPORATION

2.1 Introduction

Fluke is marktleider op het gebied van productie, distributie en onderhoud van elektronische meetgereedschappen. Het hoofdkantoor is gevestigd in Everett in de Verenigde Staten. Het bedrijf heeft productieafdelingen in Engeland, Azië en Nederland. Fluke kent drie hoofd takken waarin het opereert; Fluke Industrial, Networks en Biomedical. Sinds 1998 is Fluke een dochteronderneming van het bedrijf Danaher Corporation.

2.2 User Research

Fluke onderhoud een groot aantal contacten met gebruikers van haar producten voor productevaluaties en gebruiksonderzoeken. Omdat Benchmark Electronics de scopemeters van Fluke ontwikkeld, heeft het bedrijf direct toegang tot deze evaluatie-groep. De liftmonteur uit het volgende hoofdstuk is betrokken bij de productevaluaties van de verschillende scopemeters. De monteur gebruikt een multimeter en scopemeter van Fluke. In het hoofdstuk User Research wordt de werking van deze apparaten beschreven.

2.3 Vision

Omdat Fluke streeft naar meetapparaten die niet alleen nauwkeurige metingen leveren, maar ook al een interpretatie geven van de metingen, zijn ze geïnteresseerd naar de mogelijkheden van Augmented Reality. In januari heeft er een bezoek plaatsgevonden bij een liftmonteur in Essen waar men heeft gekeken naar de mogelijkheden. Ontwikkelaar van augmented reality applicaties TWNKLS nam ook deel aan het

bezoek om ook haar ideeën te delen. In het volgende hoofdstuk wordt de monteur uitvoerig in kaart gebracht. Als eerste stap in de richting van een volledig geïntegreerd systeem is de Fluke Connect.

Fluke Connect

De Fluke Connect is een applicatie ontworpen voor mobiele telefoons. De applicatie kan rechtstreeks verbonden worden met draadloze temperatuurmeters, multimeters en stroommeters. Draadloze scopemeters zijn nog niet op de markt. Fluke Connect maakt het mogelijk om metingen gemakkelijker te vast te leggen, te beheren en te delen met collega's en leidinggevend. De hoofd functies van Fluke Connect zijn weergegeven in tabel 2.2.



Figure 2.1: Fluke Industrial Tools

Fluke Corporation	
Design	Rugged Safety
Colour scheme	Yellow & grey
Purpose	Portable / handheld
Environment	Industrial Dirty
Target group	Artisan
Features	Ease-of-use High CAT IP rating

Table 2.1: Brand characteristics [Grob, 2011]



Figure 2.2: Company logo

VERBIND UW INSTRUMENTEN. VERBIND UW GEGEVENS.



Fluke Connect™ werkt met meer dan 20 verschillende test- en meetinstrumenten van Fluke en stelt u in staat problemen snel en met vertrouwen te identificeren en te diagnosticeren en tegelijkertijd uw gegevens veilig te delen wanneer en met wie u dat wilt.

Figure 2.3: Fluke Connect marketing campaign

Fluke Connect	
ShareLive	Videogesprekfunctie met collega's en leidinggevenden. Anderen kunnen live de omgeving (video) en de meting meekijken.
EquipmentLog	Metingen van alle verschillende apparaten worden bewaard op één plaats. Historische metingen worden opgeslagen, zodat deze op een later tijdstip opnieuw opgevraagd kunnen worden. Op deze manier is het mogelijk om een meting te vergelijken met een eerdere meting. Indien de meting teveel afwijkt, kan deze gemarkeerd worden met een prioriteits-label die zichtbaar is voor iedereen. Daarnaast kunnen metingen gekoppeld worden aan een werkorder, wat rapporteer-tijd bespaart.
TrendIt	Metingen opnemen, zodat deze geplotted kunnen worden als een grafiek in de tijd. Zo is het gemakkelijker vast te stellen wat de signaaltrend zal zijn.
AutoRecord	Opnemen van metingen over een bepaalde periode.

Table 2.2: Fluke Connect functionalities



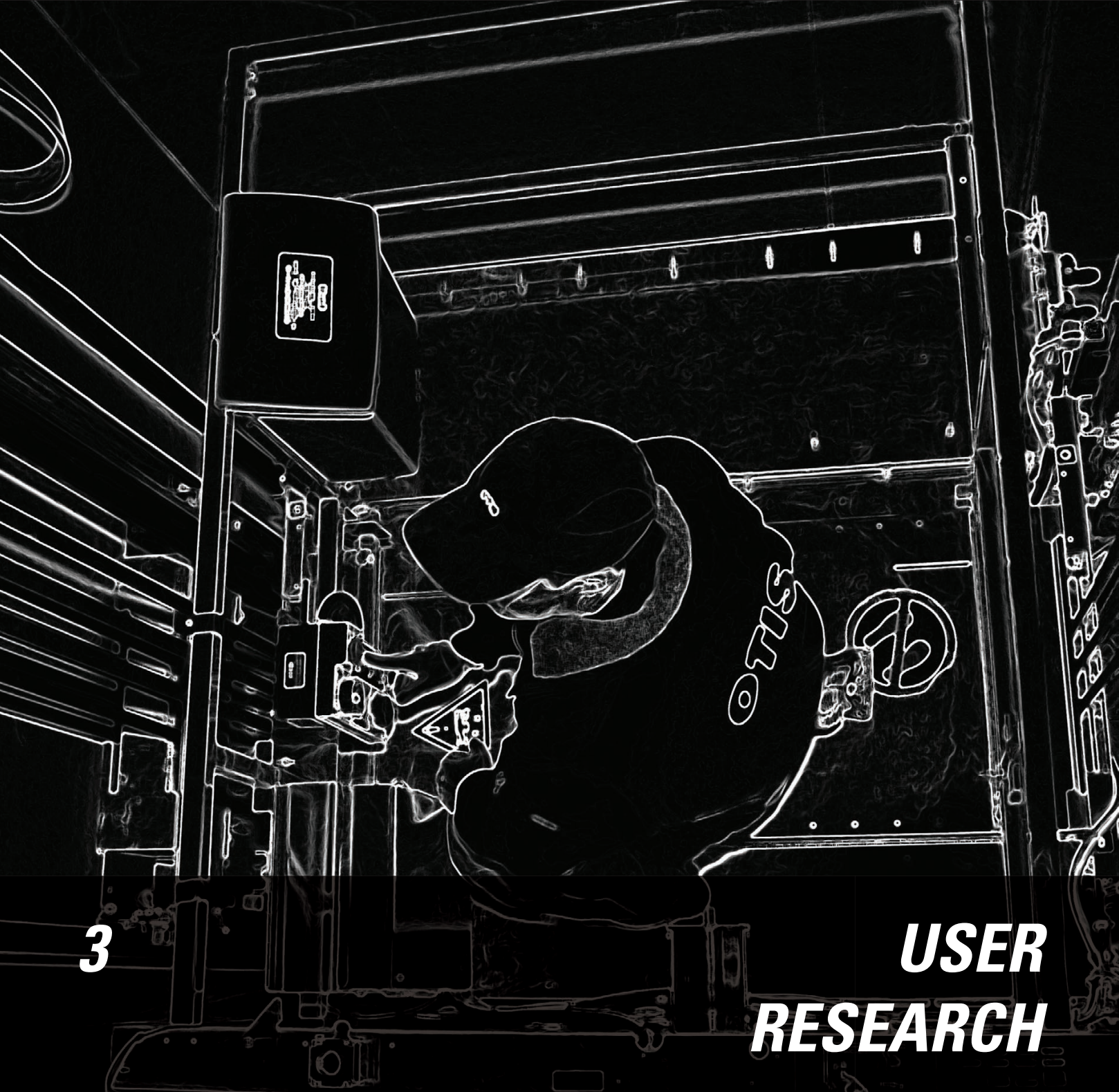
Figure 2.4: ShareLive, Share a temperature measurement



Figure 2.5: EquipmentLog, Keep track of measurements



Figure 2.6: TrendIt, Display measurements over time



3

USER RESEARCH

3.1 The Elevator Company

3.1.1 The Company

OTIS Elevator Company is 's werelds grootste fabrikant, installateur en serviceonderneming van liften, roltrappen en rolpaden. Het bedrijf heeft haar naam te danken aan de oprichter van het bedrijf, Elisha Otis, tevens uitvinder van de eerste lift met een valbeveiliging. Vanaf 1853 fabriceert, levert en onderhoud het bedrijf zijn liften in tegenwoordig meer dan 200 landen. Beroemde gebouwen met een lift van OTIS zijn onder andere de Eiffeltoren, de Petronas Twin Towers en de Empire State Building. Het bedrijf onderhoud wereldwijd 1,6 miljoen liften en roltrappen.

OTIS

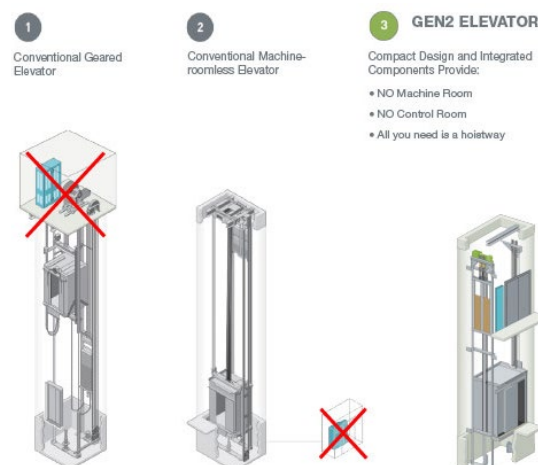
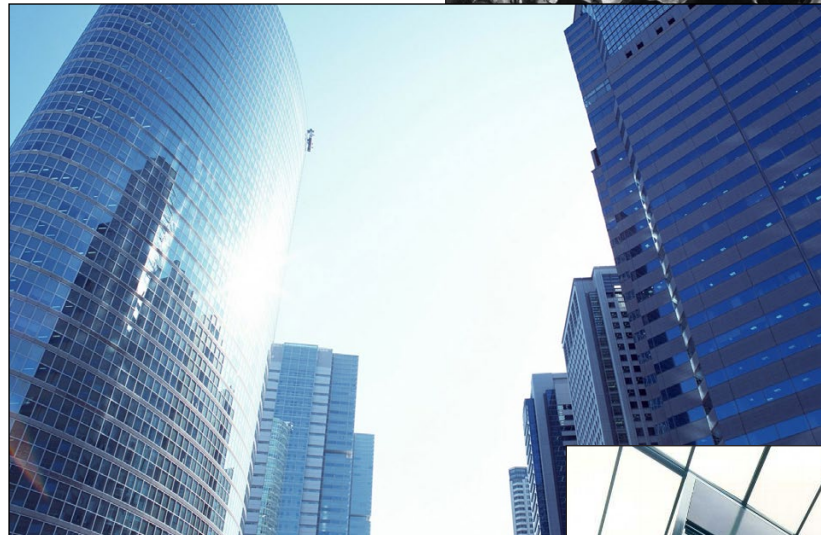
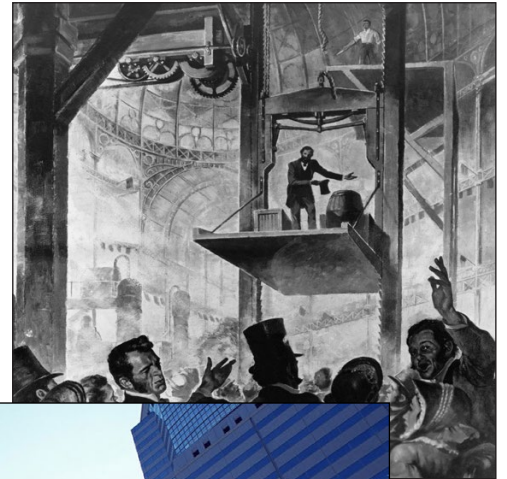


Figure 3.1: The OTIS Elevator Company

3.1.2 Elevator types

Het bedrijf produceert diverse typen liften, waarvan het Gen2-systeem de meest recente versie is. In principe zijn de liften van OTIS te verdelen in twee typen: De moderne Gen2-lift en de conventionele type 2000 lift. Dit laatste type is gebouwd in een hydraulische, elektrische en elektrisch met een frequentieregelaar variant. Het moderne Gen2-systeem heeft de mogelijkheid om energie terug te winnen aan het net, zodra de lift naar beneden beweegt. Daarnaast kan het nieuwe model concurreren op de markt van liften zonder machinekamer. Oudere liften hebben een machinekamer, waar de motor en sturingselektronica te vinden is. Architecten kiezen echter een lift zonder afzonderlijke machinekamer boven een lift met een afzonderlijke machinekamer, vanwege de grotere ontwerp-vrijheid van het gebouw en de betere benutting van de ruimte. Liften zijn leverbaar in verschillende maten, hefvermogens, persoonsaantallen, rijsnelheden en maximale hefhoogten. Appendix D geeft een overzicht van leverbare modellen in Nederland.

3.1.3 Escalators & Moving Walkaways

OTIS onderhoud en produceert ook roltrappen en -paden. Het onderhoud wordt gedaan door specifieke monteurs; roltrappen en -paden worden daarom in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

3.1.4 Vision

OTIS streeft er naar om liftstoringen en uitvaltijd te minimaliseren. Bij een apparaat dat meer dan 20 jaar in bedrijf

is, lukt het helaas niet om het aantal storingen te reduceren naar nul. Om de klant goed van dienst te zijn, biedt OTIS diverse onderhoudscontracten zodat een facilitair bedrijf van een gebouw zich niet hoeft te bekommeren om de lift. Het meest uitgebreide pakket beschikt over het REM-systeem dat automatisch problemen verstuurt naar een centraal meldsysteem. De engineer lost het probleem op vanaf een afstand, waar mogelijk. Zo niet, dan stuurt de engineer een monteur om het probleem op te lossen. De klant wordt in de tussentijd uitvoerig op de hoogte gehouden. Daarnaast kan de klant bellen als er sprake is van een storing. Betrouwbaarheid is één van de pijlers waarmee OTIS zich wel onderscheiden van concurrenten.

3.1.5 The Gen2-model

De meeste liftstoringen ontstaan door onderdelen die direct in contact staan met de eindgebruiker. De liftdeur is daarom het meest storingsgevoelige onderdeel van de lift. Preventief onderhoud voorkomt voortijdig uitval van het onderdeel. De Gen2-liften beschikken over onderdelen die onderhoud en uitval nog verder reduceren naar een minimum. Door gebruik te maken van speciale platte aandrijfriemen en het aantal roterende te minimaliseren, zijn er geen smeermiddelen meer nodig. De platte aandrijfriemen wordt tevens continu bewaakt en het systeem kan daarmee preventief aangeven of een riem vervangen moet worden. Het verwisselen van de tandwieloverbrenging met een ReGen-Drive frequentieregeling, maakt het mogelijk om de lift energiezuiger te maken en

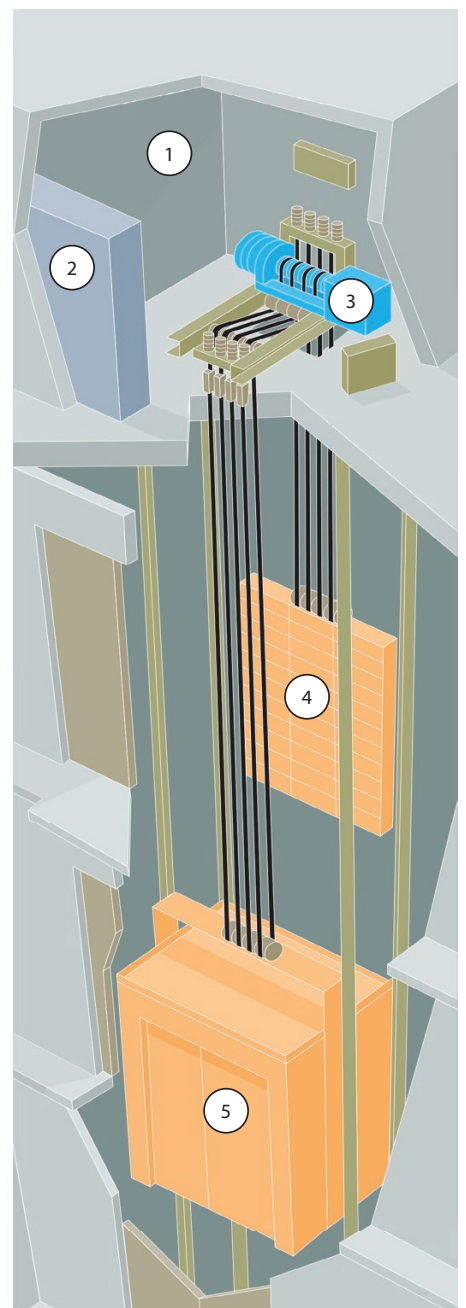
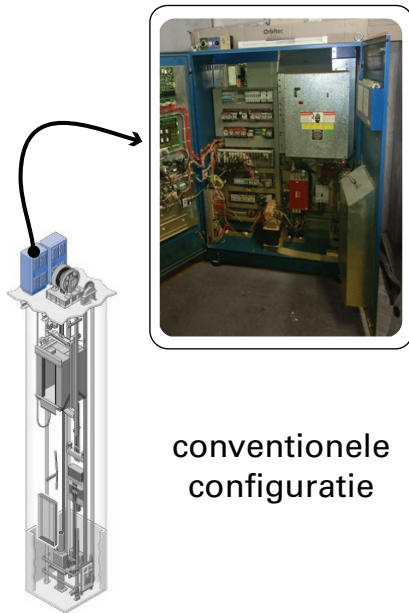
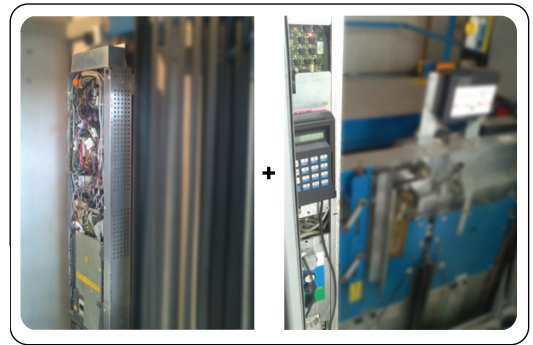
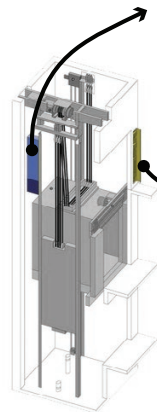


Figure 3.2: Conventional lift set-up



conventionele configuratie



moderne configuratie

Figure 3.4: Configuratie liftonderdelen in moderne en conventionele situatie

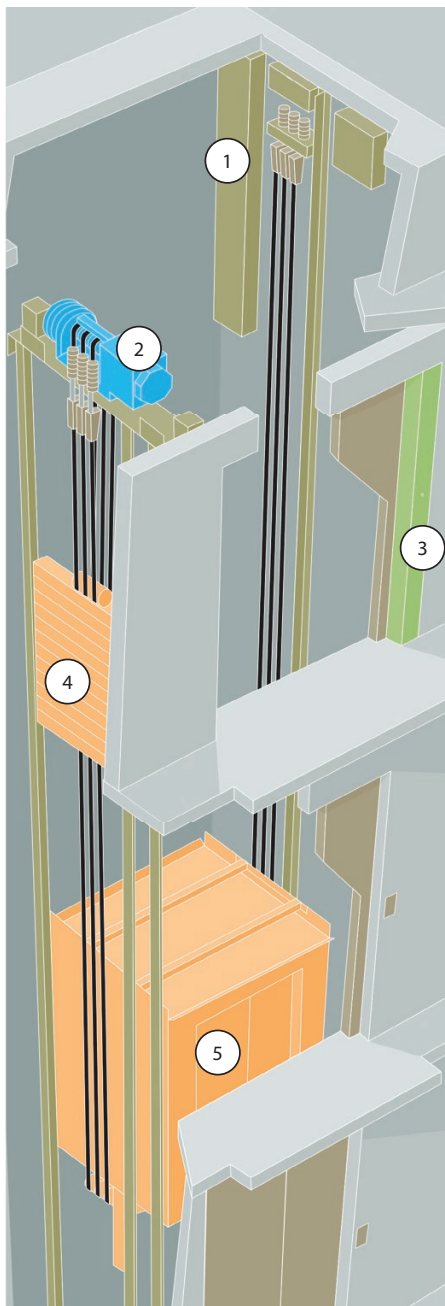


Figure 3.3: Modern lift set-up

daarnaast het rijcomfort te vergroten. Deze frequentieregelaar zorgt er zelfs voor dat in situaties waar energie vrijkomt, energie wordt teruggegeven aan het net.

3.1.6 Composition

Een conventionele lift (zie figuur 3.2 op de vorige pagina) bestaat grofweg uit een machinekamer (1), een kast met sturingselektronica (2), een motor met tandwieloverbrenging (3), een tegengewicht (4) en de liftcabine (5). Een moderne lift (zie figuur 3.3) bestaat uit een geminimaliseerde kast met sturingselektronica aan de bovenkant van de liftschacht (1), een compacte motor bovenin de liftschacht (2), een besturingspaneel in het deurportaal van de bovenste verdieping (3), een tegengewicht (4) en de liftcabine (5). De nieuwe liften zijn minder toegankelijk voor de liftmonteurs. Om metingen te doen aan de sturingselektronica, moet de monteur op de liftcabine gaan staan en de lift omhoog verplaatsen de schacht in. Vanaf hier kan de monteur metingen verrichten. Zoals op de foto in figuur 3.4 is te zien, is de volume-afname van de geminimaliseerde kast voornamelijk te danken aan het reduceren van de hoeveelheid lucht. Alle elektronica is bij elkaar gepropt, wat vervangen of controleren van onderdelen een hels karwei maakt.

3.1.7 Potential Problems and Failures

Door het verwijderen van de tandwielkasten en het reduceren van draaiende onderdelen in het algemeen, ontstaan er waarschijnlijk minder problemen in het mechanisch domein

van de lift. Doordat voortijdig falen van mechanische onderdelen wordt bewaakt, is het mechanisch falen beperkt tot een minimum. De toevoeging van elektrische componenten (frequentieregelaar, slijtage-aandrijfriem-detectie, remote elevator monitoring etc.) vergroot de kans op een fout in het elektrische domein. Desondanks is de oorzaak van een storing in circa 60% van de gevallen een mechanisch defect (zie appendix F). Uit de handleiding van de monteur is te achterhalen dat sturingselektronica bestaat uit diverse modules van verschillende fabrikanten. Er worden hier enkele modules ontrafeld om mogelijke elektrische problemen te achterhalen.

1. OTIS microprocessor controller MCS 321 M voor het aansturen van meerdere liften in een groep. Communiqueert met andere modules doormiddel van veldbus RS-485.
2. Siemens AT25 module voor het aansturen van de liftdeuren. Heeft een 7-segment display dat de bedrijfsstatus aangeeft. Zie appendix E.

De bedrijfsparameters van de Siemens AT25 worden mogelijk via het REM-systeem naar het centrale meldpunt van OTIS gestuurd. Waarschijnlijk kunnen deze parameters ook uitgelezen worden met behulp van de OTIS Test Tool. Er kunnen ook fouten ontstaan door de communicatie tussen de modules onderling. Industriële modules communiceren veelal over de seriële RS-485 busstructuur. Het protocol onderscheidt zich van de RS-232 (gebruikt



Figure 3.5: The OTIS Test Tool

door computers en randapparatuur) door een grotere kabellengte en de lagere gevoeligheid voor storingen.

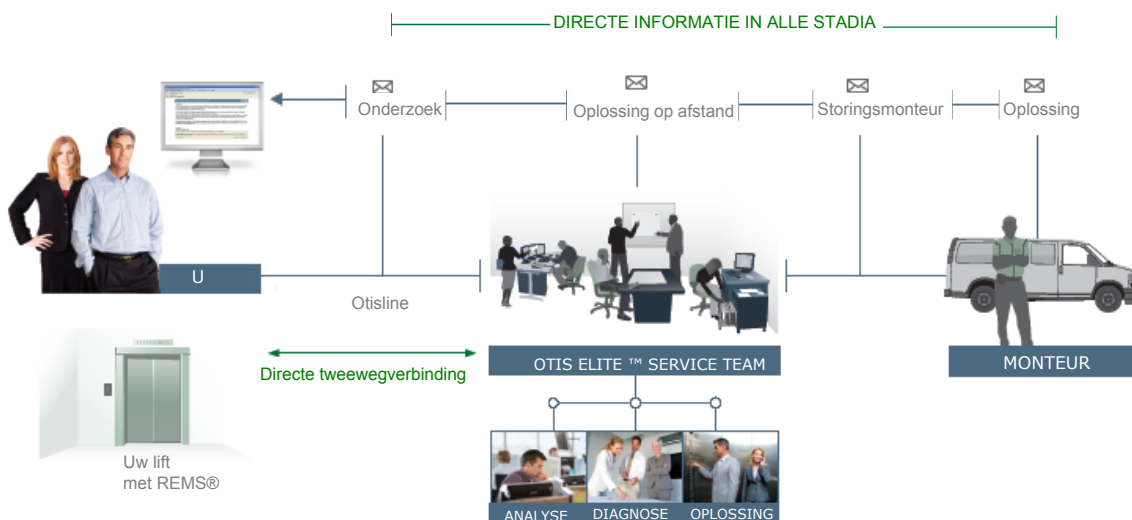
Liftmonteurs raadplegen collega's regelmatig om te achterhalen waar modules zich bevinden, op welke manier modules met elkaar verbonden zijn en wat betreffende bedrijfsparameters betekenen.

3.1.8 Maintenance and Troubleshooting Services

OTIS onderscheidt zich van haar concurrenten door haar uitgebreide onderhoud- en storingservices. De nieuwe ELITE-service kenmerkt zich om door een

snellere reactietijd, kortere uitvaltijd en een hogere betrouwbaarheid van de lift. In geval van een storing analyseert het OTIS Service Team de lift vanaf een afstand. Het serviceteam komt met een oplossing en probeert waar mogelijk het probleem op afstand op te lossen. De lifteigenaar wordt tijdens het proces op de hoogte gehouden per e-mail. Indien het probleem niet op

afstand opgelost kan worden, stuurt het serviceteam een monteur naar de lift. Door het vooronderzoek wat door het serviceteam is verricht, vertrekt de monteur met enkele hypothesen om de oorzaak te achterhalen van de storing.



Nieuwe technologie

Door speciale hard- en software kunnen wij een rechtstreekse interactieve verbinding met uw liftinstallatie tot stand brengen. Zodra u het nieuwe Otis Elite™ service nummer belt of het REMSsysteem een probleem vaststelt, kunnen wij door middel van deze nieuwe technologie sneller dan ooit met de diagnose beginnen.

Middelen

Ervaren Otis monteurs en Elite™ engineers vormen samen een team om u Otis Elite™ service te kunnen bieden. Onze hoogopgeleide Otis Elite™ engineers analyseren de gegevens, zorgen voor een snelle diagnose van het probleem en lossen het probleem op afstand op of sturen een monteur.

Efficiëntie

Doordat diagnose- en reistijd samenvallen wordt de totale reparatietijd drastisch teruggebracht. De monteur komt bij u met een duidelijk plan van aanpak en waardevolle diagnostische informatie, die alleen onze Otis Elite™ engineers kunnen leveren.

Figure 3.6: OTIS Elite Service procedure

3.2 The Service Technician

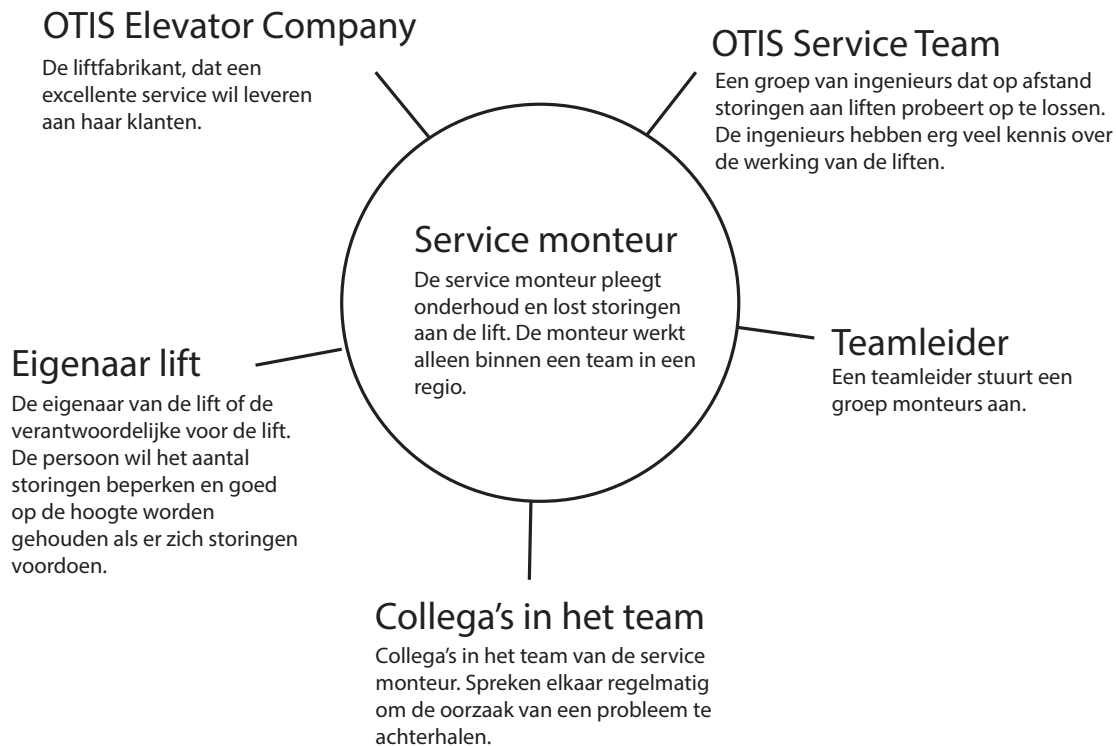


Figure 3.7: Context frame

3.2.1 Archetype

Fluke onderscheidt drie typen persoonlijkheden van gebruikers. De arbeider, de beheerder en de wetenschapper. Haar producten zijn voornamelijk gericht op de arbeider; een non-communicatief type, een echte doener [Grob, 2011]. De Service Technician is een voorbeeld van een arbeider. De arbeider werkt in industriële, gevaarlijke en smerige omgevingen en stelt zichzelf en de gereedschappen bloot aan zware omstandigheden. Daarnaast draagt de monteur slijtvaste kleding. De liftmonteur is een arbeider en verricht manueel getrainde en ongetrainde arbeid. Een servicemonteur heeft een elektrotechnische opleiding afgerond en wordt verder opgeleid door mee te lopen met andere monteurs en in het OTIS hoofdgebouw in Berlijn.

3.2.2 Environment

De liftmonteur werkt in een in een industriële liftschacht in tal van omgevingen. Liften worden geplaatst in winkelcentra, flats, ziekenhuizen, hotels of andere gebouwen. Deze gebouwen zijn openbaar

Moderne Gen2-lift	Conventionele Type-2000 lift
Via een portaal bij de liftdeuren op een bepaalde verdieping Door via de liftdeuren naar de liftschacht te gaan	Een machinekamer aan het topeind van de liftschacht

Table 3.1: Acces to elevator electronics depends on model

of privaat. Ook zijn er liften in een eigen, afzonderlijk gebouw; denk aan parkeerliften of de lift bij een viaduct. De liftsystemen zijn zodanig weggewerkt zodat buitenstaanders geen toegang hebben tot de onderliggende elektronica of mechanica van de lift. Toegang tot de lifttechniek verschilt per model (zie tabel 3.1).

3.2.3 Equipment

Al het benodigde gereedschap wordt meegenomen naar de liftschacht. De liftmonteur neemt verschillende gereedschappen mee, zoals in figuur 3.8 is weergegeven. Een servicemonteur heeft daarnaast elektrische componenten op reserve (transistors, relais enzovoort) [PRISM, 2013].

- Basic Tools; schroevendraaiers, tangen
- OTIS Test Tool

- Multimeter
- Scopemeter
- Tablet (sinds kort)

OTIS Test Tool

De OTIS Test Tool is een kastje met een scherm en een aantal toetsen. Het communiceert met systemen via een seriële verbinding over een kabel.

Het gereedschap wordt gebruikt om het logboek van de lift uit te lezen en om liftinstellingen aan te passen. Niet iedere servicemonteur is gemachtigd om de lift te configureren. Het tablet vervangt de OTIS Test Tool.

Multimeter

Een multimeter is een mobiel apparaat dat parametrische waarden geeft van grootheden zoals voltage, ampère, en weerstand. De relatie van de meting



Figure 3.8: The service technician at work in a machine room

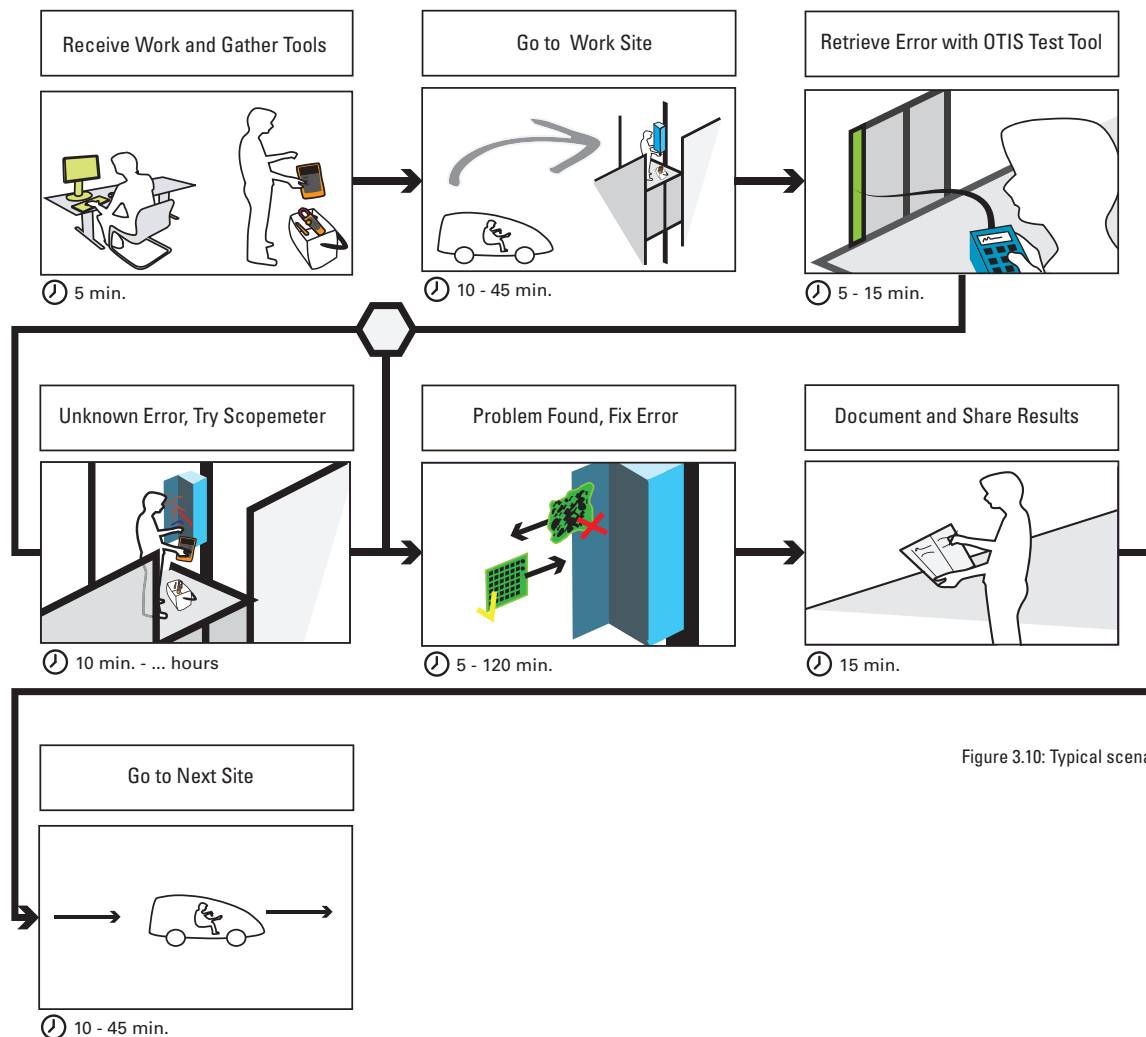


Figure 3.10: Typical scenario

- Het schoonmaken van de liftinstallatie om storingen te voorkomen
- Assisteren van een keurende instantie bij een liftkeuring
- Het oplossen van storingen (in de storingsweek is de liftmonteur oproepbaar)
- Het documenteren en rapporteren van de status van de installatie voor collega's, de service engineer en de lifteigenaar

Servicemonteurs werken zelfstandig, maar hebben een groep van collega's waarin vragen en antwoorden uitgewisseld kunnen worden. Daarnaast kunnen ze een service engineer raadplegen, in geval van problemen zonder heldere oorzaak. Bij bezoek aan een liftinstallatie dient de monteur zijn bezoek te rapporteren. Elke lift heeft een map met documenten. Deze map bestaat uit werktekeningen en beschrijvingen van de liftmodules. Omdat de lift op maat wordt gemaakt voor een gebouw, bestaat niet iedere lift uit dezelfde modules.

3.2.5 Method

Het reguliere onderhoud van liftinstallaties wordt gepland door het afdelingshoofd van een team van monteurs. Daarnaast wordt circa 80 % van de werkzaamheden verdeeld door het OTIS Serviceteam. Zij ontvangen de storingen via de OTIS Service Line. Een servicemonteur komt ter plaatse, indien er sprake is van een storing en het OTIS Serviceteam het probleem niet op afstand kan oplossen.

3.2.6 Troubleshooting

Het achterhalen van de daadwerkelijke oorzaak van een probleem wordt in het rapport aangeduid met de Engelse term *troubleshooting*. Troubleshooting is de meest tijdrovende taak uit de dagelijkse activiteiten van de monteur (zie ook scenario in figuur 3.10). Het vlot kunnen onderscheppen van een probleem is een vaardigheid die wordt geleerd door veel training en praktische ervaring. De oplosstrategieën van de monteur zijn daardoor gebaseerd op praktische ervaringen. Vaak is systematisch probleem oplossen geen onderdeel van de opleiding. Ervaren monteurs laten monteurs in opleiding meelopen om deze

probleemstrategieën en oplosroutes over te dragen.

Doordat OTIS de betrouwbaarheid van haar liften verhoogt (om liftuitval te minimaliseren naar een minimum) komen herhalende storingen steeds minder vaak voor. Monteurs raken daardoor minder getraind met bepaalde machines of onderdelen. Oplosstrategieën, gebaseerd op eerdere ervaringen (als deze machine niet goed start, zit er vocht in het relais), zijn daardoor niet langer afdoende. Als een zeer betrouwbare machine dienst weigert, is er vaak geen strategie voorhanden om de oorzaak op te sporen. Systematisch troubleshooting is daardoor van succesbelang om vlot de ware oorzaak van een probleem te achterhalen [Hout, 2008].

Systematic troubleshooting

Volgens Hout in het vakblad Maintenance Management is systematisch troubleshooting op te delen in een aantal stappen. De stappen worden afzonderlijk behandeld in de volgende alinea's.

1. Opstellen van een goede

- probleembeschrijving
2. Het in kaart brengen van mogelijke oorzaken
 3. Het toetsen van de gevonden oorzaken
 4. Overgebleven oorzaken rangschikken
 5. Het kiezen van de beste oplossing en het uitvoeren daarvan

Scenario

Zodra de OTIS Service Line een storing ontvangt is vaak de probleemomschrijving niet helder. Het service team probeert op afstand de beschrijving concreet te maken. Desondanks kan het voorkomen dat de ingenieurs van het OTIS serviceteam er niet in slagen om tot de kern van het probleem te komen. De monteur zal in deze situatie moeten praten met de verschillende partijen (gebruiker lift, eigenaar lift, het serviceteam) om de onderste steen boven te krijgen. Communicatievaardigheden zijn hierbij van succesbelang. Het stellen van de juiste vragen op de meest gepaste manier maakt het mogelijk om de juiste informatie te achterhalen, voor het opstellen van een correcte beschrijving van het probleem.

Hierna worden de mogelijke oorzaken van het probleem in kaart gebracht. Bij zeer unieke storings (dus geen storings die zich vaker voordoen of te groeperen zijn tot een type storing) is het lastig om ook maar één oorzaak te bedenken. Een monteur wendt zich tot de storingshistorie en de handleiding van het apparaat om mogelijke oorzaken te ontdekken. De monteur gebruikt daarnaast de voorbereidende informatie van het serviceteam en raadpleegt collega's voor het opvragen

van informatie uit de storingshistorie over relevante aanpassingen aan het apparaat. Gesprekken met de omgeving geven mogelijk hints over wijzigingen op een hogere schaal; dit zijn wijzigingen buiten het systeem dat het liftsysteem onbedoeld beïnvloeden. De volgende alinea geeft een voorbeeld van een storing met een oorzaak buiten het liftsysteem.

Het facilitairbedrijf heeft een nieuwe machine aangeschaft en aangesloten op een groepenkast samen met de lift. De machine schakelt een paar keer per dag in. Bij inschakeling veroorzaakt de machine een spanningsdip, wat de sturingselektronica van de lift doet ontregelen met een vreemde storing tot gevolg. Het OTIS REM-systeem vermeldt in de storingshistorie dat de sturingselektronica af en toe uitschakelt en na een aantal minuten weer inschakelt. Helaas geeft dit nog geen duidelijke aanleiding voor het achterliggende probleem. Voor het serviceteam is het uitvallen van de sturingselektronica een raadsel. De software van deze module vertoont nooit kuren en heeft een zeer hoge betrouwbaarheid. Het serviceteam vermoedt dat er iets veranderd is in de omgeving van de lift. De monteur gaat op pad en informeert bij de gebruikers en beheerders van de lift. Al snel wordt duidelijk dat nieuwe machine waarschijnlijk de boosdoener is.

Bij storings die vaker voorkomen zullen opmerkingen van collega's in de

storingshistorie en de aanmerkingen van het service team voldoen. De opmerkingen geven een lijst van mogelijke oorzaken die de storing kunnen veroorzaken. Het rangschikken van oorzaken op waarschijnlijkheid is belangrijk, om verdere onderzoek-tijd te beperken. De monteur zal beginnen met het oplossen van het probleem dat meest waarschijnlijk de oorzaak is van de storing.

Na het succesvol oplossen van de storing, rapporteert de monteur zijn bevindingen in de storingshistorie. Monteurs houden niet van rapporteren en formuleren de bevindingen dan ook erg kort en bondig. Desondanks kan een complete rapportage andere monteurs in de toekomst helpen om de oorzaak sneller te vinden.

Conclusion

In de voorgaande stappen is de werkwijze uiteengezet voor systematisch troubleshooting. Om de oorzaak van een probleem effectief te achterhalen zijn ervaring, systematiek, toegang tot kennis van collega's en communicatieve vaardigheden essentieel. Met de aanname dat de betrouwbaarheid van onderdelen toeneemt, worden systematische- en communicatieve vaardigheden nog belangrijker dan voorheen.

3.3 Conclusion

Uit de voorgaande hoofdstukken is het volgende op te maken:

3.3.1 Partial results and conclusions Technology Research

Augmented Reality kan dienen als een interface voor de Internet of Things. De techniek koppelt diverse informatiebronnen aan een locatie in een werkomgeving. Ten tweede kan AR dienen als een soort zesde zintuig dat werkelijke beelden direct verrijkt met dynamische data; een MRI-scan geprojecteerd op een menselijk lichaam.

Uit vooronderzoek blijkt dat het aannemelijk is dat Augmented Reality voldoende volwassen gaat worden om industriële toepassingen mogelijk te maken.

Fluke Corporation

Fluke Connect biedt een volledig geïntegreerd systeem waarmee de geschiedenis van metingen gemakkelijk bij te houden is en deze te delen met collega's en leidinggevend. Daarnaast geeft het de mogelijkheid metingen te koppelen aan apparaten, werkorders, foto's van de omgeving, (geluids)notities etc.

User Research

De volgende lijst somt de belangrijkste resultaten en conclusies op:

1. OTIS wil klanten een excellente service bieden en zich daarmee onderscheiden van andere liftleveranciers.
2. Het aantal elektrische modules is toegenomen in de nieuwe liftmodellen.
3. Liftmonteurs hebben moeite met

het gebruiken en interpreteren van scopemeter-data.

4. De locatie van modules en de manier waarop ze met elkaar verbonden zijn, verschilt per lift. Liftmonteurs hebben moeite met het lokaliseren van modules.
5. Liftmonteurs maken gebruik van veel verschillende apparaten om de oorzaak van een storing te achterhalen.
6. Effectief troubleshooten vereist veel ervaring.
7. Een systematische aanpak maakt het oplossen van unieke problemen minder tijdrovend.

3.3.2 Problem Definition

Uit User Research is op te maken dat het achterhalen van een storingsoorzaak veel tijd kost. Monteurs zijn onder geschoold of hebben (nog) weinig praktijkervaring wat het oplossen van een storing bemoeilijkt. Het vlot kunnen produceren van mogelijke oorzaken komt met jaren van praktijkervaring en ligt ten grondslag aan succesvol troubleshooten. OTIS streeft er naar om storingen te minimaliseren en investeert waarschijnlijk in oplossingen die dat realiseren. De OTIS Elite service is hiervan een voorbeeld. Er wordt aangenomen dat de organisatie ook andere oplossingen aanwendt om de betrouwbaarheid te verhogen, zoals het verbeteren van de machines en het bijscholen van monteurs. Een eerste probleemstelling wordt daarmee:

Hoe kan de ondergeschoolde liftmonteur geholpen worden om een storing sneller op te

lossen?

Door gebrek aan ervaring hebben veel monteurs moeite met het vinden van liftonderdelen en zijn ze niet in staat om voldoende oorzaken te bedenken voor niet-reguliere storingen. Daarnaast wordt de scopemeter weinig gebruikt, wat het eigen maken van de scopemeter moeilijk maakt. Zodra monteurs geen denkbare oorzaken kunnen verzinnen, raadplegen ze een expert. De expert kan een ingenieur zijn van het OTIS Service Team of een collega uit het team met meer kennis.

3.3.3 Possible Solutions

Het regelmatig bijscholen van de monteurs in de vorm van een praktische training zorgt ervoor dat de monteurs elkaars ervaringen delen op het gebied van troubleshooten en geoefend blijven met de scopemeter. Daarnaast is een training systematisch probleem oplossen mogelijk effectief als het aantal irreguliere storingen significant toeneemt.

Ondanks uitgebreide trainingen blijven er altijd werknemers in de organisatie met meer ervaring of inzicht. Een training kan niet alle mogelijke probleemszenario's dekken en zal daarom per definitie nooit helemaal volledig zijn. Fluke Connect kan hierin van toegevoegde waarde zijn doordat ervaringen gemakkelijker uitgewisseld kunnen worden met teamleden. Een geschiedenis dossier van metingen per module maakt het voor nieuwe monteurs gemakkelijker om vast te stellen of een meting (te veel) afwijkt. Augmented Reality

maakt het mogelijk om experts naar het probleem te laten kijken en aanwijzingen te geven zonder fysiek aanwezig te zijn op de werklocatie. Het voordeel van Augmented Reality ten opzichte van de ShareLive-functionaliteit van Fluke Connect is dat experts *virtueel* aanwezig kunnen. Het beschrijven van een technisch voorval wordt hierdoor vele malen eenvoudiger.

Een combinatie van Fluke Connect met Augmented Reality biedt een uitgebreide oplossing voor het probleem. Experts kunnen binnen enkele seconden aanwijzingen geven en daarmee de monteur meteen op het goede spoor zetten. Het achterhalen van de oorzaak vergt daardoor waarschijnlijk minder tijd en de storing wordt sneller opgelost. Het delen van informatie maakt het interpreteren van een afwijkende meting eenvoudig. Daarnaast kan Augmented Reality de monteur aanwijzingen geven over de locatie van onderdelen. Er moet worden voldaan aan een aantal randvoorwaarden om het systeem succesvol te maken:

1. Het systeem moet uitgerust worden met een API (Application Programming Interface) om data zoals werkorders uit te lezen van OTIS systemen. OTIS maakt gebruik van een eService applicatie. Waarschijnlijk zullen zij deze applicatie willen gebruiken en niet volledig willen overstappen op een Fluke-systeem. Integratiemogelijkheden zijn daarom essentieel.
2. Het systeem dient geschikt te zijn voor

Windows tablets. OTIS maakt gebruik van tablets met het besturingssysteem van Microsoft Windows. Het Fluke-systeem moet gebruikt kunnen worden op deze apparaten.

3. Scopemeters moeten draadloos verbonden kunnen worden met het systeem. De huidige versie van Fluke Connect heeft nog geen mogelijkheden voor scopemeters.

In het volgende hoofdstuk wordt een impressie gegeven van een nieuw Fluke-systeem gebaseerd op Fluke Connect met toevoeging van Augmented Reality. Het reflecteert op de hypothese:

Augmented Reality laat ondergeschoolde liftmonteurs storingen sneller oplossen

Het systeemontwerp eindigt met een operationeel scenario waarmee de hypothese getoetst kan worden.

Op korte termijn (binnen vijf jaar) is een AR-applicatie voor de industriële werkomgeving niet haalbaar. Het is aannemelijk dat het AR Fluke-systeem binnen 10 jaar werkelijkheid wordt.



Headstuck title

4

**TECHSYSTEM
DESIGN**

4.1 Introduction

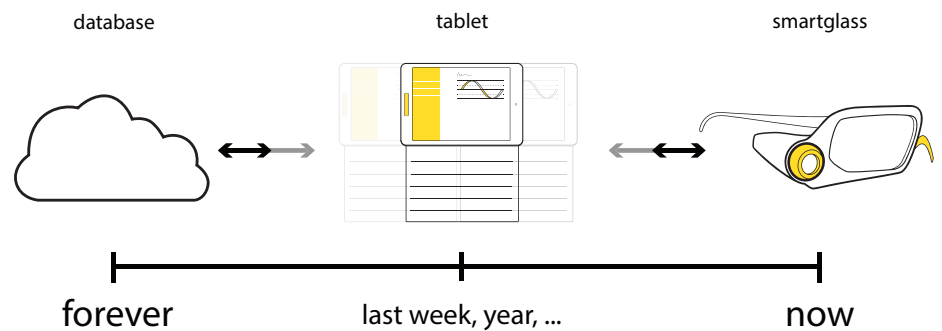


Figure 4.1: Device versus information recency

4.1.1 Goal

In System Design wordt een *proof of concept* gegeven van een AR-systeem dat de monteur assisteert bij zijn dagelijkse (onderhouds-) taken en in het bijzonder bij het oplossen van storingen. Het systeem ondersteunt de hands-on mentaliteit van de monteur en helpt bij het herkennen en vinden van liftonderdelen.

4.1.2 Operation

Het systeemontwerp is gebaseerd op een uitwisselbaar model van de werklocatie. Het model is online en voor alle teamleden toegankelijk. In dit verslag noemen we het model het *plant service model*. Het plant service model bevat een beschrijving van de werklocatie (in dit geval een lift) met al zijn onderdelen (devices). Teamleden kunnen opmerkingen, metingen en notities koppelen aan subonderdelen van het model. De datastructuur van het plant service model en de mogelijkheid om opmerkingen te plaatsen is gebaseerd op het Fluke Connect-systeem en is beschreven in appendix G. Door een interactief model te bouwen met notities en metingen is het voor een onder geschoolde monteur gemakkelijker om storingen op te lossen. Indien een monteur op een probleem stuit met een onbekende oorzaak, schakelt de monteur de hulp in van een expert. De toevoeging van AR maakt het mogelijk om virtueel aanwezig te zijn op de werklocatie en gemakkelijker aanwijzingen te geven. Experts zijn binnen enkele seconden virtueel aanwezig bij de liftmonteur en kunnen de monteur op de goede weg helpen. Daarnaast kunnen experts op

afstand interacteren met het model. De informatie uit het plant service model is uitwisselbaar met softwaresystemen van een organisatie doormiddel van een API (Application Programming Interface). Op deze manier is het systeem te implementeren in de OTIS eService applicatie (OTIS Elite Service) of andere bestaand systemen.

4.1.3 Added value of AR

AR verbetert de hands-on mentaliteit van de monteur, doordat informatie uit het model direct zichtbaar is op de onderdelen van de lift. Deze informatie hoeft de monteur niet op te zoeken uit een handleiding of storingshistorie, maar is meteen zichtbaar als de monteur aanwezig is op een werklocatie.

Onderdelen zijn gemakkelijker te herkennen doordat ze voorzien worden van een virtueel label. Daarnaast navigeert het systeem de monteur naar een onderdeel.

In uitzonderingsgevallen is het plant service model van de lift niet toereikend. De monteur kan geen oorzaak verzinnen voor de storing en schakelt een hulplijn in. Deze hulplijn is virtueel aanwezig op de werklocatie. Het is voor de expert eenvoudiger om het probleem uit te leggen omdat de expert onderdelen kan aanwijzen of voorbeelden kan laten zien. Dit is niet mogelijk met een video- of voicegesprek.

4.1.4 Assumptions

Ten eerste wordt aangenomen dat de ontwikkeling van Augmented Reality met

dezelfde trend voortzet. Beeldherkenning blijft de major technologie om de werkelijke omgeving in kaart te brengen en verbetert zodanig dat objecten en vlakken vlot herkend en gevolgd kunnen worden met de rekenkracht van mobiele apparaten. Beeldherkenning blijft werken, ook indien omgevingsvariabelen zoals belichting enigszins afwijken. Circa tien objecten kunnen simultaan herkend en gevolgd worden. Voor het ontwerp wat gepresenteerd wordt is de positie-nauwkeurigheid van objecten van minder groot belang. In het ontwerp worden annotaties op de werkelijke wereld geplaatst. De werkelijke wereld wordt niet overlapt met bijvoorbeeld CAD-modellen, wat een hoge positie-nauwkeurigheid noodzakelijk maakt.

4.1.5 System Tools

Smartglass

Er is gekozen om de visualisaties van Augmented Reality tot leven te wekken met een smartglass. Een smartglass is een head-mounted-display met extra componenten (camera, sensoren, etc.) om AR daadwerkelijk te verwezenlijken. Met een smartglass heeft de monteur zijn handen vrij en wordt hij niet gehinderd tijdens het uitvoeren van zijn taken. De smartglass bevat een *optical see-through display* om zijn gezichtsveld zo min mogelijk te belemmeren. Een optical see-through display heeft geen vaste brandpuntafstand en blijft altijd de omgeving weergeven, ook als de batterij leeg is. Omdat het apparaat visualisaties projecteert in het gezichtsveld, is het apparaat geschikt om zeer actuele en locatie-specifieke informatie weer te



Figure 4.3: The smartglass

geven. Irrelevante informatie weergeven is per definitie hinderlijk, maar wordt op een smartglass als extra hinderlijk ervaren; de gebruiker kan simpelweg niet wegstijgen, omdat de informatie in het gezichtsveld blijft. Om *visual clutter* te voorkomen projecteert de smartglass alleen informatie die er op dit moment toe doet [Glass Developers, 2014]. Een binoculaire smartglass (het gezichtsveld van beide ogen worden van extra informatie voorzien) geniet de voorkeur over een monoculaire smartglass (het gezichtsveld van één oog wordt van extra informatie voorzien). De diepteperceptie van een binoculaire head-mounted display is beter en de bril dient daarmee tevens als veiligheidsbril [Yang-Mao e.a., 2013].

Omdat een monteur beide handen gebruikt bij zijn werkzaamheden, wordt de bril aangestuurd met spraakcommando's. Voor de onervaren gebruikers zijn spraakcommando's lastig te onthouden. Het touchpad maakt het mogelijk om zonder gebruik van spraaksturing functies uit te voeren. Voor het tracken van de omgeving is een camera toegevoegd. Daarnaast bevat de smartglass een microfoon en een oortelefoon om te communiceren met teamleden. Tot slot heeft de smartglass een veiligheidskoord. Het veiligheidskoord voorkomt dat de monteur per ongeluk zijn smartglass verliest. Als blijkt dat de rekenkracht van de smartglass te beperkt is, kan het veiligheidskoord dienen als een

datakabel naar een krachtige zakcomputer. Waarschijnlijk heeft het apparaat extra sensoren nodig om handgebaren, de omgeving en de beweging van de gebruiker te tracken. Deze sensoren zijn niet gespecificeerd, omdat tracking niet volledig is uitontwikkeld.

Tablet

Een tablet is toegevoegd aan het systeem om het opzoeken van gegevens in het model mogelijk te maken. De smartglass geeft alleen locatie-relevante informatie weer; voor een uitgebreide beschrijving, een overzicht van metingen of een gedetailleerde handleiding wendt de monteur zich tot het tablet. Het tablet kan gemakkelijk bevestigd worden in de liftschacht met de magnetische hanger. Daarnaast heeft het tablet een toetsenbord om documentatie toegankelijk te maken. Een weergave van het tablet in context is te vinden in figuur 4.7.

Deze architectuur combineert het beste van twee werelden. Er is geen sprake van een strikte scheiding van functies; bepaalde functies zullen zowel door de tablet als door de smartglass volbracht kunnen worden. De smartglass en tablet worden aangeduid als de *workbench*.

4.1.6 Approach

Gebaseerd op de beschreven systeemstructuur zijn operationele scenario's opgesteld om de werking van het

systeem in kaart te brengen. De scenario's dienen als hulpmiddel voor het opstellen van specifieke eisen en wensen en geven inzicht in de functies die uitgevoerd worden door de verschillende partijen. De datastructuur van de Fluke Connect wordt gebruikt en uitgebreid. Een nieuwe systeemarchitectuur is vervaardigd en tot slot is de user-interface van de applicatie gespecificeerd om het herontwerp te illustreren.

4.1.7 Fluke InspectAR

Het ontwerp wordt gepresenteerd onder de naam Fluke InspectAR om een duidelijk onderscheid te maken tussen de huidige Fluke Connect en het AR-systeem met smartglass en tablet. De term *Inspector* is een verbastering van het werkwoord inspecteren en de afkorting AR. Het werkwoord inspecteren betekent 'bekijken of alles in orde is' of 'in ogenschouw nemen'. De achterliggende nadruk op 'bekijken' is in lijn met de visuele dimensie van een smartglass. Zie ook appendix J.

4.2 Requirements

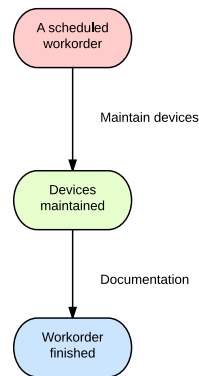


Figure 4.5: Overview of workflow in case of a scheduled workorder

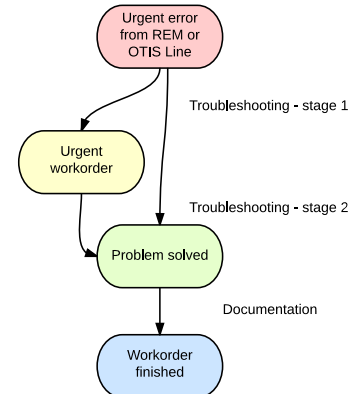


Figure 4.4: Overview of workflow in case of an urgent error

4.2.1 Operational Scenario

Een aantal scenario's zijn opgesteld om het gebruik van Fluke InspectAR te verhelderen. Gebaseerd op de scenario's is het mogelijk om de systeemarchitectuur en de functies van het systeem verder te specificeren. In appendix H zijn drie scenario's als uitsnede uiteengezet. In het eerste scenario wordt het systeem gebruikt vanuit de rol als teamleider. De overige twee scenario's benaderen het systeem vanuit de monteur. In de twee scenario's van de monteur worden twee type taken beschreven:

- het uitvoeren van onderhoud (een repeterende taak)
- troubleshooten van een herhalende of unieke storing (een iteratieve taak)

De scenario's van de monteur zijn zowel in verhaalvorm als in een flow-diagram gepresenteerd. De tweede vorm geeft een vollediger overzicht van de keuzestappen tijdens het uitvoeren van de taak. Zie figuur 4.4 t/m 4.6 en appendix I.

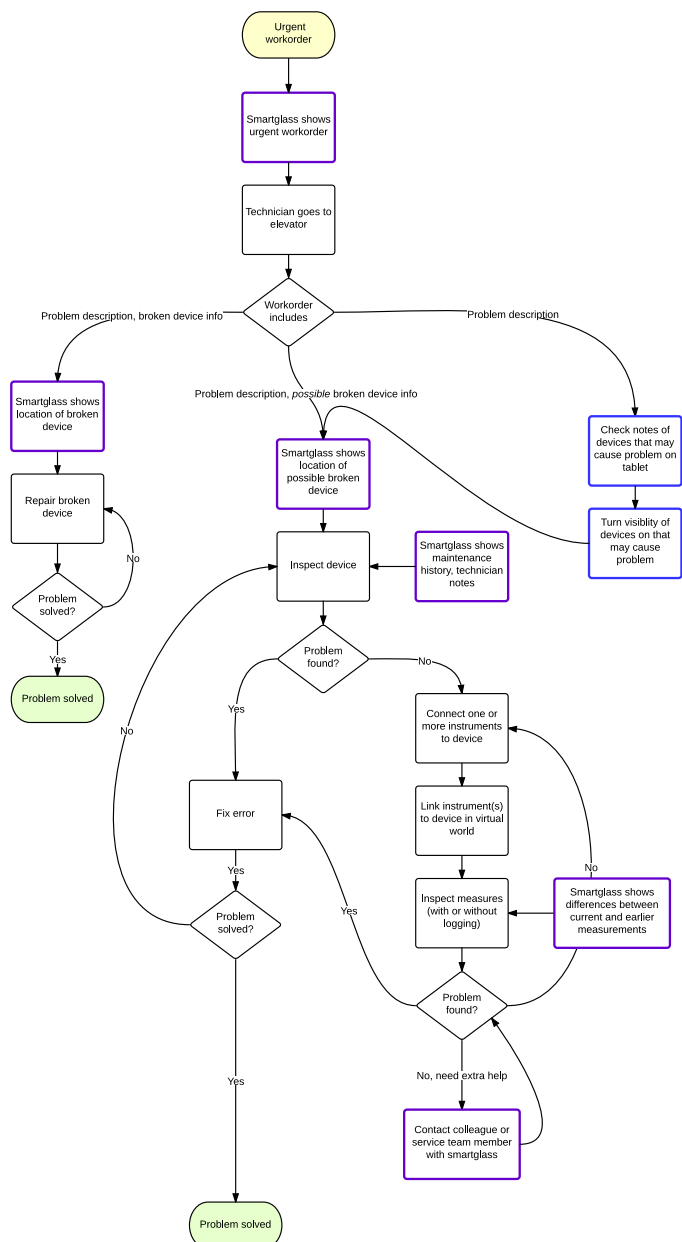


Figure 4.6: Troubleshooting stage two

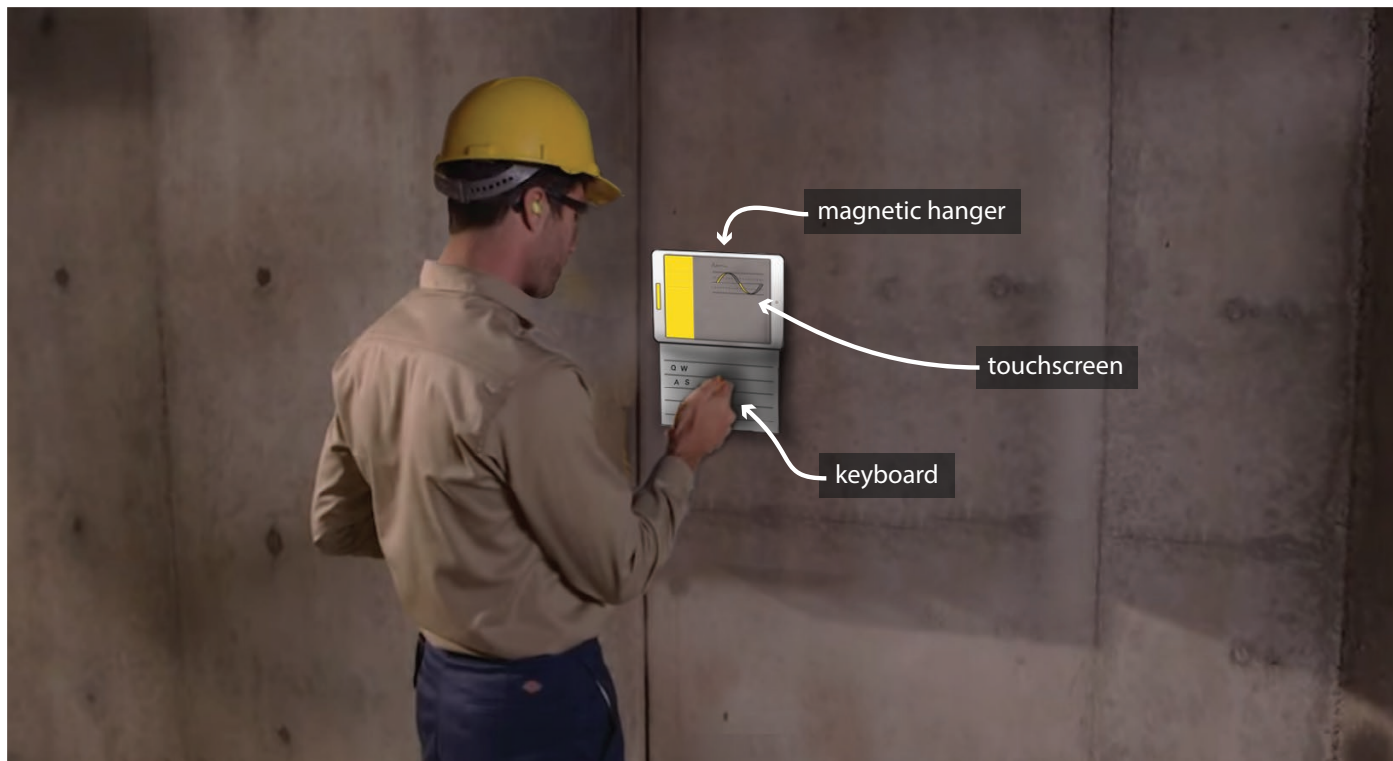


Figure 4.7: The tablet

4.2.2 Operational Requirements

Een (verdere) specificatie van de eisen en wensen zijn opgedeeld naar alle belanghebbenden.

Service Technician

Voor de monteur is het van belang dat de workbench gemakkelijk mee te nemen is. Veel liften bevinden zich binnen een gebouw, waar de monteur niet met de bedrijfsauto kan komen. De monteur draagt veel gereedschappen bij zich en wil liever geen extra apparaten meenemen.

De smartglass draagt de monteur iedere werkdag en moet daarom goed aansluiten op zijn of haar hoofd. Het apparaat moet een dag gedragen kunnen worden, zonder dat het draagcomfort ingrijpend afneemt. Het apparaat moet een dag functioneren, zonder opgeladen te hoeven worden.

De bediening van de smartglass moet natuurlijk en vlot aanvoelen, zodat het de werkzaamheden niet onnodig belemmert. De bril mag het huidige gezichtsveld van de monteur niet continu hinderen. Daarnaast moeten de visualisaties voldoende contrast hebben om ook zichtbaar te zijn in een slecht belichte liftschacht. De laadtijd van visualisaties moet een paar seconde bedragen, om de reguliere (werk)flow niet te verstoren. Spraakcommando's moeten ook uitgevoerd kunnen worden in een rumoerige ruimte (door omgevingsgeluid van liftmotoren bijvoorbeeld). Het touchpad

moet bediend kunnen worden met smerige handen of handschoenen.

Het formaat van de tablet moet zo groot zijn dat tekstverwerken voor een onderhoudsmonteur goed mogelijk is, maar het formaat moet daarnaast zo klein zijn dat het apparaat gemakkelijk mee te nemen is (naast de andere gereedschappen). De tablet moet een werkdag functioneren, zonder opgeladen te hoeven worden. Het apparaat moet bediend kunnen worden met smerige handen of met handschoenen. De tablet moet na gebruik op een veilige plek kunnen worden gelegd, zodat het niet in de liftschacht valt of op andere onveilige plekken beland. Het moet daarnaast tegen een stootje kunnen omdat het industriële omgevingen wordt gebruikt.

Zowel het tablet als de smartglass moeten minimaal 5 jaar meegaan. Beide apparaten moeten voldoen aan de veiligheidsvoorschriften die gelden in een liftschacht.

Head of Technicians / Service Team

De teamleider van een team onderhoudsmonteurs wil graag de voortgang van werkzaamheden monitoren. Daarnaast wil de teamleider graag meekijken op de werkplek als er zich grote problemen voordoen, of indien de monteur ondersteuning nodig heeft bij het nemen van een besluit. De teamleider wil graag toegang tot informatie over de

liften, zodat hij of zij weet wanneer een liftonderdeel bijvoorbeeld voor het laatst is onderhouden. Het opstellen van reguliere werkorders wordt daarmee eenvoudig.

Colleagues of Technician

De onderhoudsmonteurs spreken elkaar weinig face to face en willen graag bevindingen met elkaar uitwisselen. Daarnaast willen zij opmerkingen over liftonderdelen met elkaar en het serviceteam delen.

Elevator owner

De eigenaar van de lift wil een minimale uitvaltijd van de liften. Daarnaast wil de eigenaar dat de kosten (al dan niet abonnementskosten) laag blijven. De kosten moeten zeker lager zijn, dan wanneer de eigenaar zelf het onderhoud zou laten doen elders. In geval van een storing wil de eigenaar uitgebreid op de hoogte worden gehouden van de voortgang.

OTIS Corporation

OTIS Corporation wil storingen bij liften voorkomen en minimaliseren. Door een minimale uitvaltijd van de liften te garanderen kan OTIS een unieke positie verwerven op de liftinstallatie-markt.

4.3 System Architecture

Het hoofdstuk specificeert de opdeling en interfaces van de software om een werkend systeem te vervaardigen. De softwareblokken zijn gespecificeerd in de volgende paragrafen. De interfaces tussen de softwareblokken zijn beschreven in tabel 4.9.

Application Programming Interface

De architectuur beschikt over een API (Application Programming Interface) om data vanuit het plant service model uit te wisselen met huidige programma's binnen een bedrijf. De structuur van het plant service model is gegeven in het volgende hoofdstuk. In deze eerste opzet is alleen het uitwisselen van gebruikersdata mogelijk (naam, telefoonnummer, rol binnen het bedrijf) en meta-informatie van liften (type, locatie etc).

Manager

De manager heeft uitgebreide mogelijkheden om de informatie, opgeslagen in het plant service model, te beheren en te bekijken. De manager wordt gebruikt door een teamleider of een ingenieur van het serviceteam. De applicatie is een desktopapplicatie, omdat het voornamelijk wordt gebruikt op kantoor. Het registreert en groepeert monteurs in teams en het beheert alle werklocaties (liften). Een handleiding gekoppeld aan een onderdeel kan vernieuwd worden in de manager. Ook de AR-data van liften (zoals point clouds van onderdelen) worden opgeslagen en beheerd in de manager.

Omdat de hoeveelheid gegevens flink is

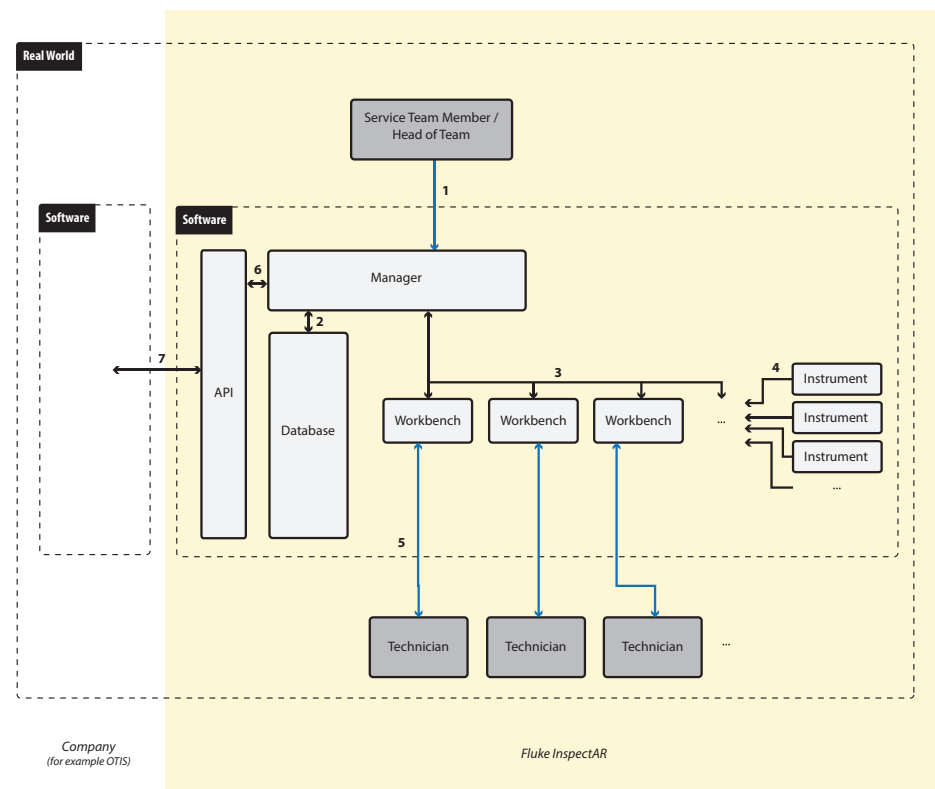


Figure 4.8: Architecture of Fluke InspectAR

Interface specification	
1	Physical and visual information exchange between application (manager) and supervisor (Head of Team for example). The supervisor has access to all data.
2	Data (reading or writing) for all elevators that OTIS maintain. The data includes measurements, workorders etc.
3	Data (reading or writing) of elevators that is maintained by a team of technicians. The data includes measurements, workorders, virtual support data etc. Virtual support-data can be shared between workbenches and the manager.
4	Instrument description data, instrument measurement data
5	Physical (handgestures for example) and visual information exchange between application (workbench) and Technician (human). These users have only access to the data of elevators that they maintain.
6	Receive or send data to API
7	Data between external application and Fluke InspectAR. The data includes user data, elevator meta data

Table 4.9: Interface specification



Figure 4.10: OTIS Service team expert using the Manager

toegenomen, mede door de toevoeging van Augmented Reality, is het noodzakelijk om een uitgebreide beheermogelijkheid te faciliteren. Hiermee wordt de hoeveelheid gegevens op de tablets van de onderhoudsmonteur beperkt tot wat de monteur daadwerkelijk nodig hebben. De applicatie is daarmee overzichtelijk voor de monteur en behoudt een totaaloverzicht voor leidinggevend.

Daarnaast heeft de manager heeft een hulplijn-functionaliteit waarmee de gebruiker van de manager virtueel aanwezig kan zijn op de werkplek van de monteur. In het rapport wordt een gesprek met deze hulplijn aangeduid met *virtual support chat*. De manager heeft (evenals zoals de workbench) een smartglass om virtual support mogelijk te maken. In dit concept gebruikt de manager dezelfde smartglass als toegepast in de workbench.

Workbench

De workbench is het mobiele deel van de applicatie en wordt gebruikt door de monteur in het veld. Het bestaat uit een tablet en een smartglass.

Smartglass

Op locatie geeft de smartglass de (sub) onderdelen van de lift weer, laat het de opmerkingen en notities zien en leest deze

eventueel voor. Als de monteur in de buurt is van de lift, laat de smartglass zien waar een bepaald onderdeel te vinden is. Ook herkent de smartglass draadloze Fluke instrumenten. Fluke instrumenten kunnen worden gekoppeld aan een subonderdeel. Metingen gegenereerd door het instrument worden direct vergeleken met oudere metingen van dat subonderdeel uit de database. Deze metingen zijn zichtbaar op de smartglass van de monteur. Foutdiagnose wordt daarmee in veel gevallen kinderspel.

Rechtsbovenin het gezichtsveld van de monteur bevindt zich een tijdlijn van gebeurtenissen. Normaliter is deze tijdlijn verborgen, maar als de monteur op de touchpad tapt, wordt de laatste gebeurtenis weergegeven (net als de Google Glass). Hierin wordt de huidige werkorder weergegeven, maar ook urgente notities van collega monteurs. Deze tijdlijn (of card viewer, zie hoofdstuk 4.6) is altijd raad te plegen en dient als menufunctionaliteit van de smartglass. Het menu heeft daarnaast de mogelijkheid om een virtual support chat te starten met een expert. Een uitgebreide specificatie van de user-interface van de smartglass volgt in een hoofdstuk 4.5.

Tablet

Het tablet is nauw verwant aan de smartglass. Instellingen die worden gedaan op de smartglass zijn ook van kracht op het tablet. Het (eenmalig) inloggen van een gebruiker geschiedt op het tablet. Zodra een monteur inlogt op het tablet, wordt een selectie van de plant service model toegankelijk. Alleen werklocaties waar de monteur en zijn team verantwoordelijk voor zijn, worden vrijgegeven. Op deze manier wordt de monteur niet overladen met irrelevante informatie en wordt het vinden van een onderdeel eenvoudiger. In tegenstelling tot het tablet, beperkt de smartglass zich tot de onderdelen en metingen die er op dit moment toe doen (omdat de monteur op een bepaalde werklocatie is bijvoorbeeld). Wil hij een onderdeel of meting (inclusief uitgebreide details) opvragen uit het verleden dan is hij of zij aangewezen op het tablet. De uitgebreide plots van scopemeters zijn daarnaast beter te bekijken en te vergelijken op het grote scherm van het tablet. De monteur zijn draadloze Fluke instrumenten worden beheerd op het tablet.

De functionaliteit van de tablet applicatie is voor een groot deel in overeenstemming met de functionaliteit van de smartphone applicatie van Fluke Connect.

4.4 Plant Service Model

4.4.1 Introduction

De datastructuur van de plant service model is gebaseerd op de datastructuur van de Fluke Connect. De datastructuur wordt beschreven in een klassendiagram. Een eerste opzet is weergegeven in appendix K. De klassen in het diagram zijn opgedeeld in een *model-view-controller* model [Microsoft Developers, 2014]. Het MVC-model is gebaseerd op de Unified Modeling Language [Wikipedia, 2014]. Eerst worden de klassen in *model* behandeld, om daarna met behulp van een state-transistion diagram de controller en view te definiëren.

4.4.2 Structure

Device

Een Device is een hoofdonderdeel in een bepaalde werklocatie. Voorbeelden van een Device zijn een motor, frequentieregelaar, deursturing etc. De klasse bevat van volgende eigenschappen:

- *deviceID*: Referentienummer van het onderdeel
- *name*: Naam van het onderdeel, bijvoorbeeld 'Siemens AT25'.
- *type*: Wat voor soort onderdeel het is, bijvoorbeeld 'liftdeuraansturing'
- *pointcloud*: Een puntenwolk van het onderdeel om beeldherkenning mogelijk te maken
- *picture*: Een verwijzing naar een afbeelding van het onderdeel
- *modules*: Een lijst met subonderdelen
- *manual*: Een verwijzing naar een handleiding van het onderdeel

De klasse heeft twee methodes om gegevens op te halen en weg te schrijven.

De oorspronkelijke Fluke Connect software onderscheidt alleen apparaten in de vorm van Devices. Metingen en notities worden gekoppeld aan een Device. Deze vereenvoudiging maakt het vergelijken van meetwaarden met oude meetwaarden lastig, omdat onduidelijk is op welk punt de meting is uitgevoerd. TestPoints zijn toegevoegd om dit probleem te verhelpen. In Fluke InspectAR kunnen alleen metingen worden uitgevoerd op testpunten. Testpunten worden gegroepeerd in een module (bijvoorbeeld voeding) binnen een device (bijvoorbeeld frequentieregelaar).

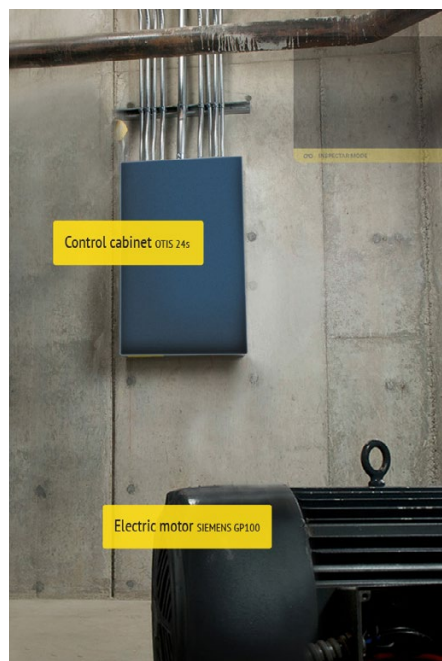


Figure 4.11: Smartglass view of Devices

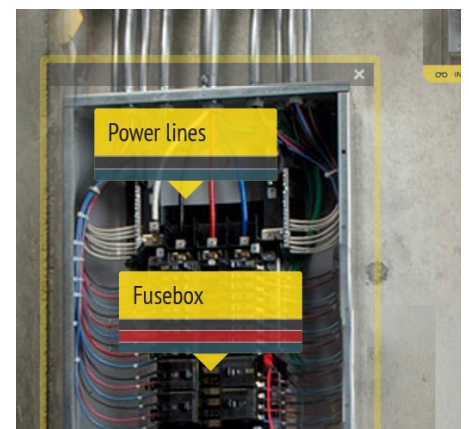


Figure 4.12: Smartglass view of two modules in Control cabinet Device

Module

Een module is een subonderdeel van een hoofdonderdeel (Device). Voorbeeld van een subonderdeel is de voeding van een frequentieregelaar. De klasse heeft de volgende eigenschappen:

- *moduleID*: Referentienummer van het subonderdeel
- *name*: Naam van het onderdeel, bijvoorbeeld 'ATX-25'
- *type*: Het soort onderdeel, bijvoorbeeld 'voeding'
- *sublocation*: een beschrijving waar de module zich bevindt in de pointcloud van de device
- *testpoints*: De testpunten van het subonderdeel. Op deze testpunten kunnen metingen worden verricht
- *notes*: Een lijst met notities die bij het specifieke onderdeel horen

De klasse heeft twee methodes om gegevens op te halen of weg te schrijven.



Figure 4.13: Smartglass view of testpoints of Fusebox module. The module contains two notes

TestPoint

Testpunten zijn aangebracht binnen een module. Een Fluke instrument kan gekoppeld worden aan een testpunt om een bepaald deel van de module uit te lezen. Het uitgangssignaal van de voeding zou bijvoorbeeld geanalyseerd kunnen worden, door een scopemeter aan te sluiten op het uitgangssignaal-testpunt van de voeding. Nieuwe testpunten kunnen door monteurs toegevoegd en verwijderd worden. Verwijderde testpunten zijn niet langer zichtbaar op de smartglass, maar blijven wel aanwezig in de lijst met testpunten in de module, zodat oude metingen niet verloren gaan. De klasse bevat de volgende eigenschappen:

- *testpointID*: Referentienummer van het testpunt
- *name*: Een naam voor het testpunt die past bij het testpunt, bijvoorbeeld

‘uitgangssignaal’ of ‘uitgang’.

- *sublocation*: Een beschrijving waar de testpunt zich bevindt in de pointcloud van de module
- *measurements*: Een lijst met metingen uitgevoerd op het testpunt

De klasse heeft twee methoden om gegevens op te halen en weg te schrijven.

Measurement

Een meting, manueel ingevoerd of automatisch ingevoerd door een Fluke instrument. Een measurement heeft de volgende eigenschappen:

- *measurementID*: Referentienummer van de meting
- *creationDate*: Datum waarop de meting is gedaan
- *value*: De daadwerkelijke waarde van de meting. In geval van een landurige meting, kan de waarde ook een lijst van waarden zijn
- *unit*: De eenheid van de grootte dat is gemeten
- *author*: De monteur die de meting heeft uitgevoerd
- *instrument*: Welk instrument voor de meting is gebruikt (voltagemeter, stroommeter, temperatuurmeter, infrarood camera, vibratiemeter). In geval van een manuele meting is dit veld blanco

De klasse heeft twee methoden om gegevens op te halen en weg te schrijven.



Figure 4.14: Smartglass view of a measurement

Note

Een Note is een opmerking, instructie, of urgente mededeling die bij een module geplaatst kan worden. Een notitie heeft als onderwerp per definitie de module waaraan het is gekoppeld, maar kan ook gaan over een testpunt van een module. Urgente notities worden automatisch zichtbaar op smartglasses van teamleden. Instructie-notities kunnen informatie bevatten over de beste aanpak om de module te onderhouden of andere tips die zinvol zijn voor bijvoorbeeld monteurs in opleiding. Notities kunnen aangemaakt worden door monteurs, maar ook door ingenieurs van het serviceteam of teamleiders. De klasse bevat de volgende eigenschappen:

- *noteID*: Referentienummer van de notitie
- *title*: Een titel ter beschrijving van een notitie.

- *description*: De daadwerkelijk opmerking of mededeling
- *type*: Geeft aan wat voor soort notitie het is: urgent, tip, waarschuwing etc.
- *voiceclip*: Een verwijzing naar een audiofragment, opgenomen door een gebruiker. Een voiceclip is optioneel
- *videoclip*: Een verwijzing naar een videofragment, opgenomen met de smartglass van een monteur. Een videoclip is optioneel
- *author*: De gebruiker die de notitie heeft aangemaakt
- *creationDate*: Datum waarop de notitie is gemaakt

Een notitie kan aangemaakt worden op het tablet, of in het veld met de smartglass.

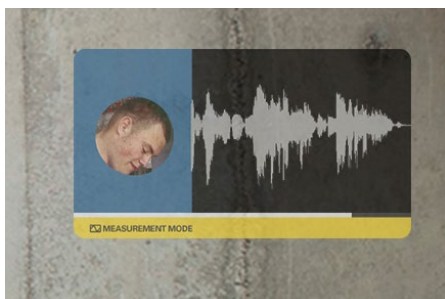


Figure 4.15: Smartglass view of a informative voice clip note

Met het tablet wordt de beschrijving en titel met het toetsenbord ingevoerd. Dit maakt het mogelijk om een uitgebreide notitie te plaatsen.

De smartglass heeft geen toetsenbord als invoerapparaat. De titel en omschrijving worden automatisch gegenereerd door spraakherkenning. De monteur vertelt zijn opmerking in circa 10 seconden.

De opmerking wordt als voiceclip of videoclip toegevoegd aan de notitie. Spraakherkenning vertaalt de voiceclip of videoclip naar tekst en vult daarmee de titel- en omschrijvingsvelden.

De klasse heeft twee methoden om gegevens op te halen en weg te schrijven.

Workorder

Een *Workorder* definieert een taak of een reeks taken voor een bepaalde monteur. Een *Workorder* kan voor verschillende situaties gebruikt worden. Reguliere taken zoals het onderhouden van een lift kan omschreven worden in een werkorder. Een werkorder kan ook dienen als probleemomschrijving wanneer er plotseling een storing optreedt in een lift. Een werkorder is altijd gekoppeld aan een lift-locatie. Optioneel is het meegeven van een onderdeel. Indien de teamleider een onderdeel koppelt aan een werkorder, omdat hij of zij verwacht dat er een storing is met dit onderdeel, dan krijgt de monteur bij aankomst in het gebouw aanwijzingen over de locatie van het onderdeel. Het onderdeel kan zich namelijk buiten de liftschaft of machinekamer bevinden, waardoor het lastig te vinden is. De klasse *workorder* bevat de volgende onderdelen:

- *workorderID*: Referentienummer van het werkorder
- *location*: De locatie of omgeving waarop de werkorder betrekking heeft. Bijvoorbeeld lift 3 in gebouw C van het ziekenhuis in Oss.
- *title*: Een titel voor het werkorder

- *description*: Een beschrijving van de taak of taken die voltooid moeten worden
- *author*: De gebruiker die een werkorder heeft aangemaakt. Dit kunnen alle gebruikers zijn
- *device*: Het onderdeel dat onderhouden moet worden of waarvan men verwacht dat het de veroorzaker is van een probleem. Het opgeven van een *Device* is optioneel
- *assignedTo*: Een monteur waaraan de werkorder is toegewezen
- *creationDate*: Datum waarop de notitie is gemaakt

Iedereen (ingenieurs, teamleiders, monteurs) kan werkorders aanmaken. Teamleiders kunnen werkorders daadwerkelijk toewijzen aan monteurs.



Figure 4.16: Active workorder, displayed on smartglass

De klasse heeft twee methoden om gegevens op te halen en weg te schrijven.

Location

Een *Location* is een werklocatie waar zich onderdelen bevinden die bij elkaar horen. De klasse groepeerd onderdelen naar een

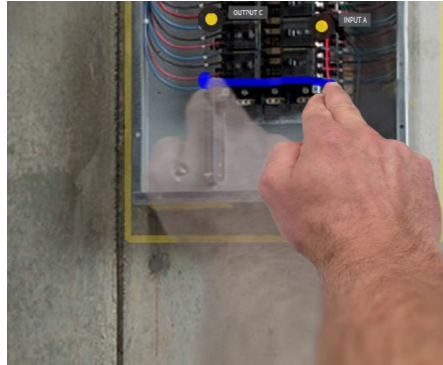
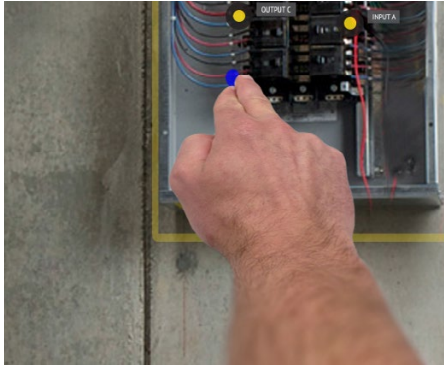


Figure 4.17: Draw a sketch to highlight item

bepaalde locatie. Meestal is een locatie een liftschacht of machinekamer. Eventueel zou een locatie ook een opslag kunnen zijn. Onderdelen gekoppeld aan de locatie 'opslag' zijn in dat geval reserveonderdelen. Een Location bevat een grove puntenwolk van de ingang van het gebouw naar de desbetreffende locatie. Met deze puntenwolk is het mogelijk een simpele navigatiemogelijkheid te faciliteren, zonder het gebruik van GPS (niet mogelijk binnen gebouwen) [13thLab, 2014]. Of deze techniek de beste oplossing is voor het probleem is niet onderzocht. Zoals beschreven in Technology Research zijn er alternatieven voor navigatie binnenshuis, maar al deze technieken zijn relatief nieuw. Vervolgonderzoek moet uitwijzen welke oplossing het meest geschikt is. De eigenschappen van de klasse zijn:

- *locationID*: Referentienummer van de locatie
- *name*: Een passende naam voor de locatie
- *address*: Adresgegevens van de ingang van het gebouw, waarin de werkplek zich bevindt. Hierna wijst het systeem de weg naar de onderdelen
- *devices*: Een lijst met devices die onder deze werkplek (zoals liftschacht) vallen
- *pointcloud*: Een puntenwolk van ingang gebouw naar werklocatie

De klasse heeft twee methodes om gegevens op te halen of weg te schrijven.

User

Een gebruiker met bepaalde rechten. De gebruikersgroepen zijn de monteurs, de teamleiders en de ingenieurs van het serviceteam. Eigenschappen van de User zijn:

- *userID*: Referentienummer van de gebruiker
- *name*: Volledige naam van de gebruiker
- *password*: Wachtwoord dat ingevoerd moet worden bij het inloggen
- *role*: De rol van de gebruiker. Mogelijkheden zijn serviceteam, teamleider of monteur

De klasse heeft twee methodes om gegevens op te halen en weg te schrijven.

Team

Iedere groep monteurs onderhoudt een aantal liften onder leiding van een teamleider. De klasse Team groepeerde deze gebruikers bij elkaar en associeert deze groep met lift-locaties. De eigenschappen zijn:

- *teamID*: Referentienummer van het team
- *name*: De naam van het team
- *supervisor*: De leider van het team
- *locations*: Een lijst met locaties van liften. Het team is verantwoordelijk voor deze liften

Teams worden aangemaakt in de manager. De klasse heeft twee methodes om gegevens op te halen en weg te schrijven.

Sketch

Een sketch is een kleine, vluchtige getekende notitie om een onderdeel te markeren. Een monteur gebruikt een sketch om een opmerking aan collega's duidelijk te maken. Zodra de monteur een sketch-handgebaar maakt, wordt er een lijn getekend. Wanneer de monteur stopt met het maken van het sketch-handgebaar stopt het tekenen. Een sketch wordt normaliter niet gekoppeld aan een module of device. Een sketch is zichtbaar zolang de monteur een module of device geopend heeft; zodra de monteur een module sluit, is de sketch verdwenen en niet meer terug te halen. Bij het opnemen van een videoclip voor een notitie, is het gebruik van sketches toegestaan. Sketches worden opgeslagen in de video, zodat andere teamleden bij het bekijken van de video de mondelinge instructies gemakkelijker interpreteren. Andere teamleden aanwezig op de locatie kunnen ook sketches maken. Iedere monteur krijgt een eigen sketch-kleur aangewezen. Een sketch wordt tijdelijk opgeslagen en heeft de volgende attributen:

- *sketchID*: Referentienummer van de
- *path*: De Schets, beschreven in de pointcloud van de locatie
- *author*: Gebruiker die de schets heeft getekend

4.5 The Smartglass

4.5.1 View

Het optical see-through display is opgedeeld in een *field viewer* en een *card viewer*. De *field viewer* geeft de annotaties weer op de werkelijke wereld. De *field viewer* is daarmee het onderdeel van het optische scherm dat voor de AR-beleving zorgt. Deze viewer wordt gebruikt om te navigeren door de locatie-specifieke dataset. De *card viewer* geeft mededelingen weer en de huidige status van de smartglass. Een mededeling is bijvoorbeeld een inkomende virtual support chat of een inkomende urgente werkorder. De *card viewer* biedt daarnaast de mogelijkheid om (kaart-specifieke) opties te selecteren vanuit een menukeuzelijst.

De *field viewer* beslaat het volledige gezichtsveld van de gebruiker. De *card viewer* is alleen zichtbaar in de rechterbovenhoek van het gezichtsveld en vervaagt automatisch na drie seconden. De *field viewer* is alleen actief als de monteur daadwerkelijk aan het werk is op een bepaalde werklocatie. De *card viewer* is altijd actief, maar stoort het gezichtsveld met mate, omdat het rechts bovenin gepositioneerd is. De *card viewer* met zijn menustructuur is gebaseerd op de weergave van de Google Glass. In figuur 4.18 zijn de onderdelen schematisch weergegeven.

De opdeling van *field viewer* en *card viewer* is gemaakt om het gezichtsveld van de monteur minimaal te hinderen. Het gezichtsveld wordt verstoord als de informatie daadwerkelijk iets bijdraagt aan

de locatie waar het geplaatst is.

4.5.2 User-input

Aantekeningen of annotaties geprojecteerd door de *field viewer*, worden gemanipuleerd met een wijzend handgebaar. De gebruiker wijst één seconde naar een annotatie, waarna nieuwe annotaties zichtbaar worden. Om terug te gaan naar eerdere annotaties, wijst de gebruiker naar een sluit-knop. Het toevoegen van een aantal extra handgebaren maakt navigeren mogelijk vlotter. Een knijpend handgebaar kan bijvoorbeeld als alternatief dienen om een annotatie te sluiten. In het gepresenteerde concept worden variaties op handgebaren niet meegenomen.

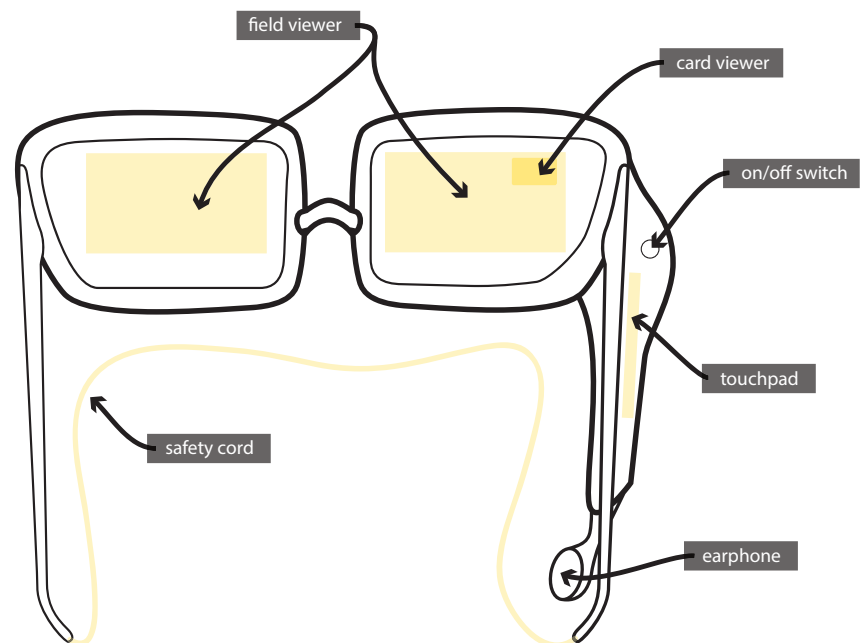
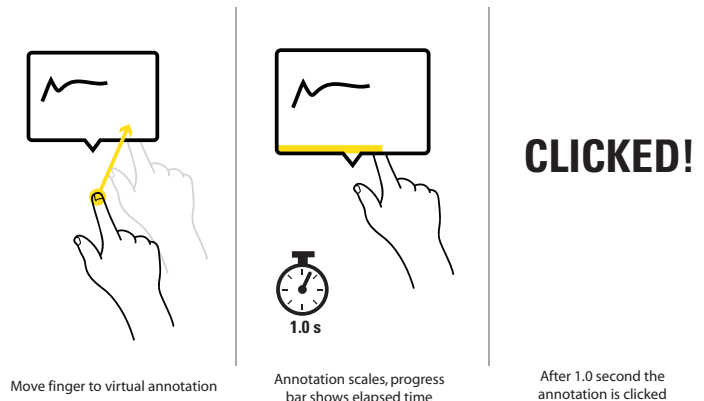


Figure 4.18: Parts of the smartglass

De *card viewer* is op te roepen door op de touchpad te tappen. De *card viewer* geeft een reeks van kaarten weer, ieder met eigen functies. De gebruiker veegt over het touchpad en bladert door alle kaarten of functies. Iedere kaart heeft zijn eigen reeks menuopties. Door eenmaal te tappen op de touchpad, worden de menuopties weergegeven en is het mogelijk om door de opties te bladeren. Een veeg omhoog sluit de menuopties en geeft de kaarten opnieuw weer. Een tweede veeg omhoog (of twee kortstondige vegen omhoog) laat / laten de *card viewer* vervagen. Kaarten kunnen de aandacht trekken door een melding weer te geven.



After 1.0 second the annotation is clicked
Figure 4.20: Point gesture

Kaarten en functies kunnen ook geactiveerd worden door spraakcommando's te gebruiken in plaats van het touchpad. Een ervaren smartglass-gebruiker spreekt waarschijnlijk zijn voorkeur uit voor spraaksturing. De monteur kan met spraaksturing sneller kaart-specifieke menuopties oproepen en heeft continu beide handen vrij. De touchpad is bedoeld als redundant invoerapparaat als spraaksturing niet werkt en om beginners wegwijs te maken in de kaarten en functies. De interactie met de card viewer is eveneens gebaseerd op de Google Glass user-interactie.

Er is gekozen om het invoerapparaat voor de field viewer en de card viewer strikt te scheiden. De annotaties in de field view bevinden zich direct op de

werkelijke wereld, recht voor de gebruiker. Dit is eveneens de plek waar de handen van de gebruiker zich bevinden (tijdens het sleutelen aan onderdelen of bij het aansluiten van een instrument). Het gebruik van je handen om deze virtuele annotaties te manipuleren voelt daardoor zeer natuurlijk aan. Handen zijn echter een grof en onnauwkeurig invoerapparaat, zeker wanneer ze zich dicht bij het gezicht bevinden. Het klikbaar-oppervlak mag daardoor niet te klein zijn.

Een vergelijkbaar probleem doet zich voor bij het ontwerp van tablet- en desktopapplicaties. In een desktopapplicatie wordt een muis gebruikt. Een muis is als invoerapparaat zeer nauwkeurig waardoor iconen klein kunnen worden gemaakt. Een applicatie met veel kleine iconen per scherm is echter ongeschikt voor gebruik op een tablet, omdat een vinger simpelweg te dik is om maar één icoon te selecteren.

Andere functies die niet noodzakelijkerwijs locatie-specifiek zijn, maar wel toegankelijk moeten zijn op de smartglass (bijvoorbeeld om een teamlid mee te laten kijken) worden verzameld in de card viewer. Handgebaren zouden ook gebruikt kunnen worden om te bladeren door deze informatie. Om echter een strikte scheiding te maken tussen de field viewer en de card viewer is er gekozen om de card viewer een eigen invoerapparaat te geven (touchpad en spraaksturing). De touchpad is geplaatst in de hoek waar de card viewer zich bevindt. Alternatieve ontwerpen op deze systeemstructuur zijn denkbaar,

maar worden niet meegenomen in het conceptvoorstel.

4.5.3 Behaviour

De smartglass kent, na het opstarten, vijf hoofdmodi waar het zich in kan bevinden: Standby, Guide, Inspector, Measurement en Support mode. In iedere modus is de card viewer oproepbaar. Het gedrag volgt uit een state-transition diagram, weergegeven in appendix L.

Standby mode

De smartglass verkeert in de standby-modus nadat het apparaat succesvol is opgestart. Tijdens het opstarten controleert het systeem of de batterij voldoende is opgeladen en of de gebruiker is ingelogd in het systeem. De monteur moet inloggen op het tablet als hij of zij niet is ingelogd. Actuele werkorders zijn nu te bekijken of enkele simpele brilinstellingen zijn aan te passen.

In de standby-modus is de smartglass waakzaam. Het monitort of er specifieke kaarten binnenkomen, zoals een virtuele support chat, werkorder of urgente notitie. Meldingen van deze kaarten worden weergegeven op de card viewer. Een melding van een werkorder wordt zichtbaar, zodra een teamleider een urgente werkorder toewijst aan de monteur. Alleen dringende werkorders en ingeplande werkorders voor het huidige tijdstip worden gemeld op de smartglass. Het systeem gaat over naar de guide-modus, indien de monteur een werkorder activeert in de card

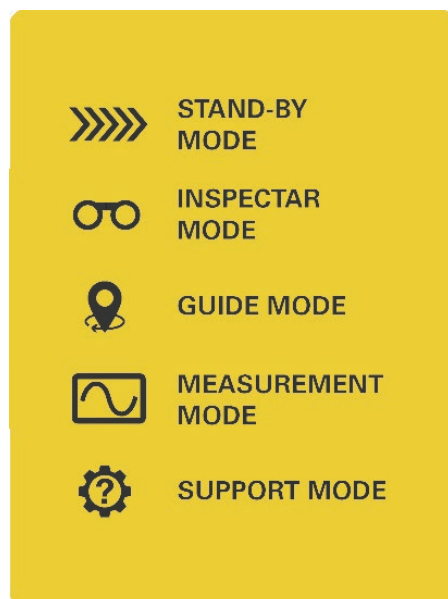


Figure 4.19: Smartglass modes

viewer.

Daarnaast blijft het systeem controleren of er onderdelen in de werkelijke wereld worden herkend. De inspectar-modus wordt actief zodra een werklocatie herkend wordt. In de standby-modus worden geen visualisaties weergegeven op de field viewer.

Guide mode

De guide-modus is de systeemmodus zolang er een werkorder actief is en de monteur zich niet op de juiste werklocatie bevindt. De guide-modus biedt de monteur een helpende hand bij het navigeren naar de werkplek. Het vervangt niet een bestaand navigatiesysteem, maar vult aan waar een navigatiesysteem ophoudt. Zolang de monteur niet in de buurt is van het gebouw wordt het adres van het gebouw weergegeven in de card viewer. Een navigatiesysteem navigeert de monteur naar de ingang van het gebouw. Zodra de monteur op bestemming is, herkent de smartglass de ingang van het gebouw. In de field viewer verschijnen pijlen die de monteur de weg wijzen naar de werklocatie. Het systeem navigeert de monteur naar een specifiek apparaat (bijvoorbeeld een globale schakelkast) als dit apparaat gekoppeld is aan de werkorder. Een ingenieur van een serviceteam kan daardoor op afstand de monteur instrueren waar het probleem waarschijnlijk te vinden is.

Technical Implementation

Om bovenstaande navigatiemogelijkheid

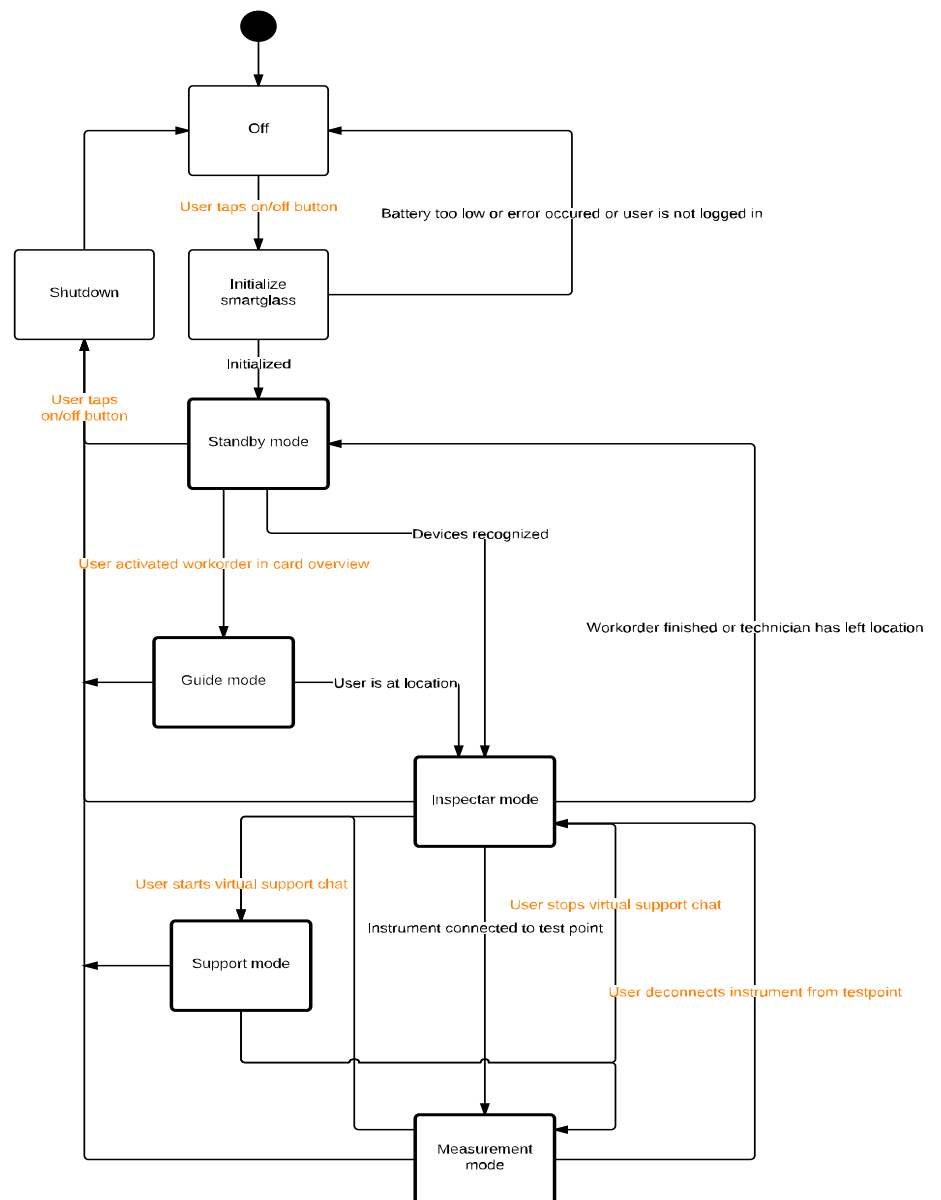


Figure 4.21: Global overview of smartglass behaviour

mogelijk te maken binnen een gebouw, maakt de smartglass gebruik van SLAM-technologie (zie Technology Research). Eenmaal zal een gebruiker een pointcloud-map moeten maken van de ingang van ieder gebouw naar de werkplek. Ook afgelegen apparaten zoals een globale schakelkast van liften moeten in deze pointcloud-map worden opgenomen. Andere monteurs kunnen in het vervolg deze pointcloud-map gebruiken om te navigeren naar de werkplek of naar een specifiek apparaat. Er wordt aangenomen dat de SLAM-technologie

in zoverre verbeterd dat lichtvariaties en kleine omgevingsvariaties (verplaatsen van stoelen of delen van het interieur) nauwelijks invloed hebben op de prestaties de technologie. De aanname is gebaseerd op het veelbelovende autonavigatie voorbeeld van 13thLab. Groot nadeel van deze technologie is dat de navigatie eindigt wanneer de monteur zich buiten de pointcloud-map bevindt. De guide mode kan daarom geen alternatieve route voorstellen als de monteur een instructie negeert.

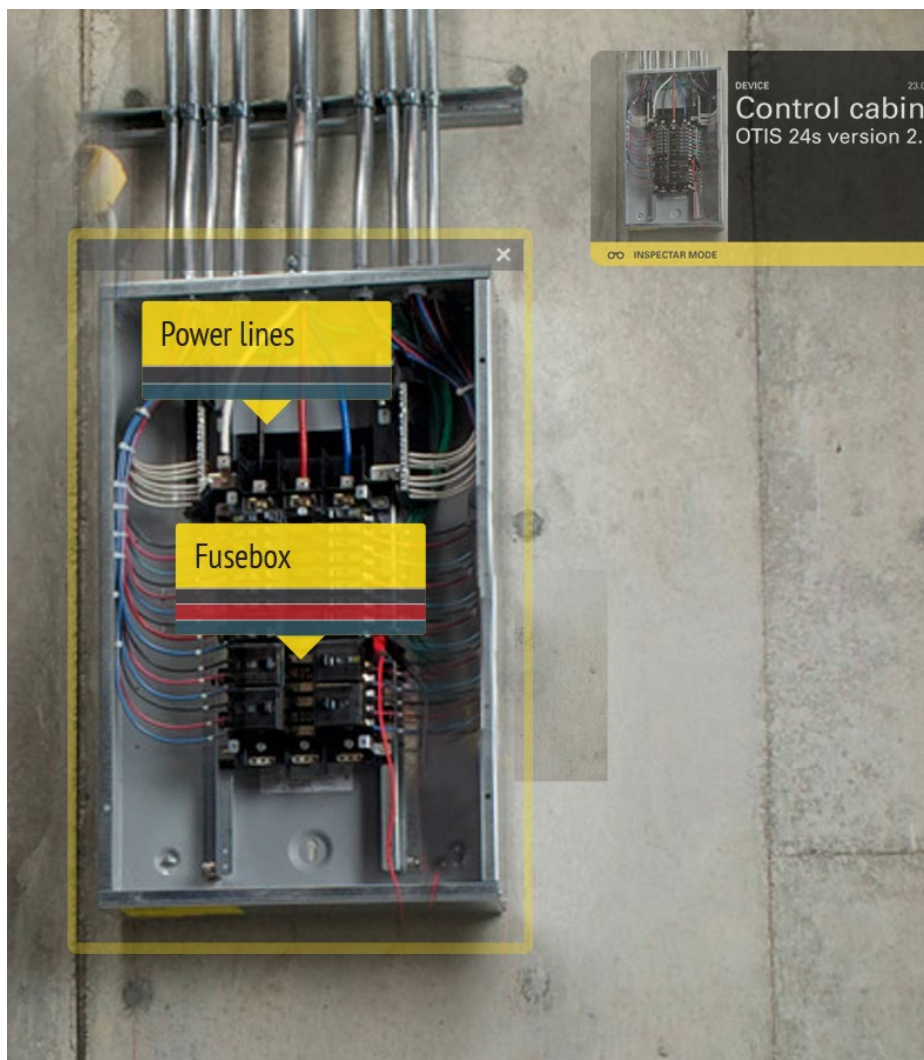


Figure 4.22: Show modules

Een alternatieve technologische oplossing voor de beschreven functionaliteit is Wi-FiSLAM. Wi-FiSLAM maakt het mogelijk om binnenshuis te navigeren gebaseerd op de zendsterkte van verschillende routers. Voorwaarde is dat er voldoende routers verspreid zijn over het gebouw en deze niet van plaats veranderen. Groot voordeel van deze oplossing is dat de navigatie robuuster is en niet zomaar eindigt. Ook bij deze technologie moet het gebouw eenmaal in kaart worden gebracht.

Inspector mode

De inspector-modus wordt gestart zodra de monteur op een werklocatie is. De modus geeft annotaties van apparaten, metingen en notities weer, geprojecteerd op de werkelijke wereld. De annotaties worden weergegeven in de field viewer. De monteur navigeert door de annotaties door gebruik te maken van een wijzend

handgebaar. Om de informatie gespreid aan te bieden wordt bij aanvang in de werkomgeving alleen annotaties van de apparaten weergegeven. Zodra de monteur wijst naar een apparaat worden de modules van een apparaat zichtbaar. Iedere module kan notities bevatten die bijvoorbeeld iets vertellen over de prestaties van de module of een opmerking geven over een bepaald testpunt. De gekleurde lijnen aan de onderkant van iedere module-annotatie geven aan wat voor soort notities gekoppeld zijn aan de module. De module Fusebox bijvoorbeeld, heeft in figuur 4.22-4.23 een kritische en een informatieve notitie. Zodra de monteur wijst naar een module worden de testpunten en de titel van een notitie zichtbaar.

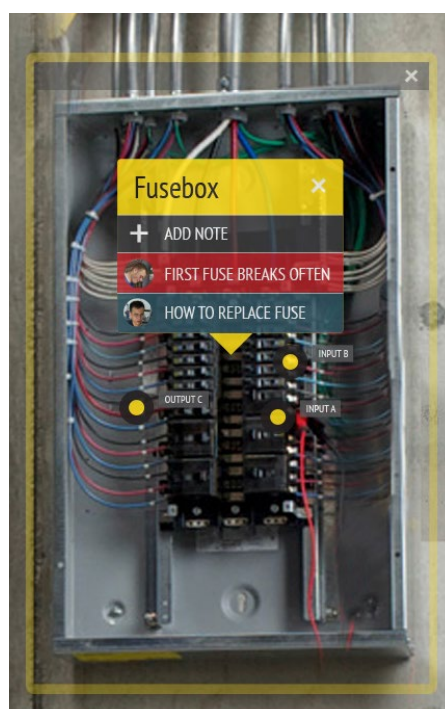


Figure 4.23: Show testpoints and notes

Een onervaren monteur kan bijvoorbeeld de informatieve notitie 'How to replace fuse'-openen om een video-instructie te starten over het vervangen van een zekering. Blijkbaar is het vervangen van zekeringen in deze schakelkast ongewoon, wat een monteur heeft aangemoedigd om een video-instructie te maken. Aanmaken van een notitie is zowel mogelijk op de smartglass als op het tablet. Wanneer de monteur wijst naar 'Add note' wordt de note-kaart weergegeven op de card-viewer. Hier krijgt de monteur een aantal keuzeopties, voordat het opnameproces van start gaat. De monteur geeft aan of de notitie een voice- of videoclip is en of de notitie van informatieve of waarschuwende aard is. Deze keuzes worden zichtbaar op de card viewer. Een ervaren monteur gebruikt waarschijnlijk het spraakcommando 'OK



Figure 4.24: Overview of measurements in card viewer

smartglass, record a <urgent / informative / warning> <voice / video> clip' om een notitie aan te maken. Tijdens het opnemen van de videoclip is het mogelijk om een sketch te maken, ter ondersteuning van de uitleg.

Doormiddel van spraakherkenning wordt er automatische een titel en beschrijving aangemaakt voor de notitie. Mocht de monteur ontevreden zijn over de automatische vertaling, of extra informatie toe willen voegen, dan opent hij de notitie op het tablet. Met het toetsenbord typt de monteur gemakkelijk een uitgebreide beschrijving bij de notitie. Eventueel verwijst hij of zij naar een handleiding gekoppeld aan het apparaat.

Door op het touchpad te tappen wordt de huidige modus zichtbaar in de card viewer. De card viewer geeft de module-specifieke functies weer, indien er een module geopend is en de monteur nogmaals op de touchpad tapt. Module-specifieke functies zijn bijvoorbeeld het toevoegen van een notitie of het toevoegen van een testpunt. Het testpunt kan ook worden toegevoegd door het spraakcommando 'OK, smartglass, add a test point' te gebruiken. Een testpunt wordt toegevoegd rondom de module-annotatie en is verplaatsbaar met een wijzende vinger.

Zodra de monteur een Fluke instrument in beeld brengt, wordt deze automatisch herkend door de smartglass. Een meting wordt gestart als de monteur een verbindingsslijn tekent (met handgebaren) tussen het instrument en een testpunt.

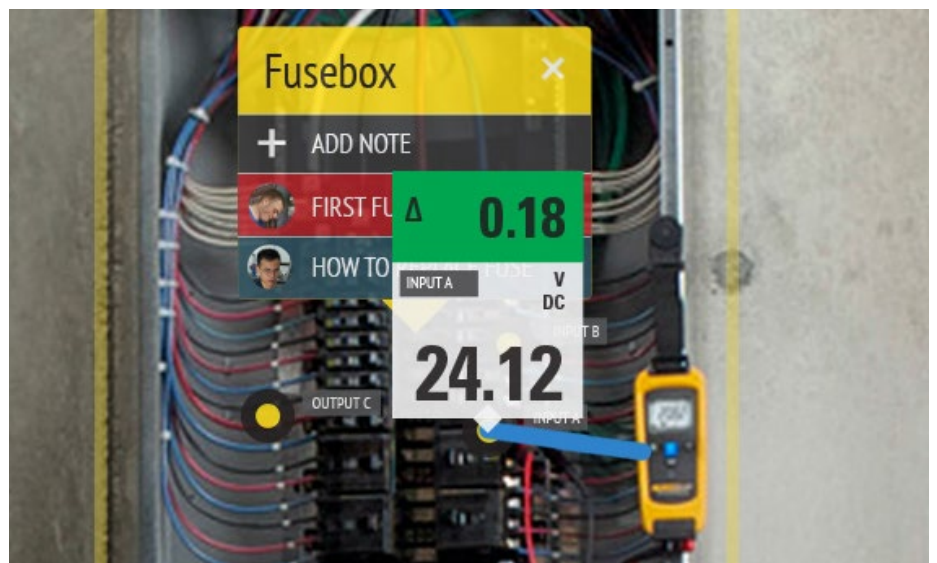


Figure 4.25: Measurement with a small deviation

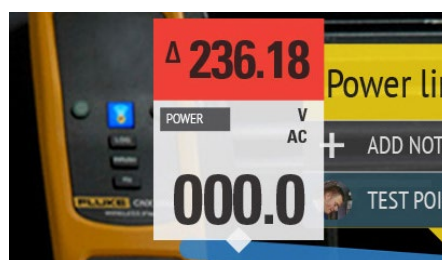


Figure 4.26: Measurement with a large deviation

Het instrument moet ook in de werkelijke wereld zijn aangesloten op het object wat gelinkt is aan het testpunt. Als de meting wordt gestart, gaat het systeem in measurement-modus. In deze modus is het nog steeds mogelijk om te navigeren door de onderdelen, maar de card viewer blijft de actuele meting tonen.

Measurement mode

In de measurement-modus volgt het systeem de huidige meting. De actuele waarde van de meting wordt zowel

weergegeven op de werkelijke locatie van de meting als in de card viewer. Dit maakt het mogelijk om de meting te volgen zonder naar de meting te kijken. De monteur kan bijvoorbeeld elders een apparaat inschakelen, om te kijken of dat invloed heeft op de huidige meting. Ook kan de monteur nog een tweede en derde meting starten, om deze metingen in real-time met elkaar te vergelijken. De tablet geeft een grafische weergave van alle metingen over de tijd weer. De card viewer geeft alleen de actuele waarde van de meting weer. Voor meer nauwkeurigheid bekijkt de monteur de meting op het tablet en voor een snelle indicatie volstaat de weergave in de card viewer.

De meet-annotatie toont, naast de actuele meetwaarde, ook de afwijking van de actuele meetwaarde met de gemiddelde meetwaarde (berekent op basis van

voorgaande metingen). Mocht de meting erg veel afwijken, dan kleurt het vlak rood. Wanneer de huidige meting nauwelijks afwijkt van voorgaande metingen dan kleurt het vlak groen. Het interpreteren van een meetwaarde wordt hierdoor erg eenvoudig. Verdere inspectie van de meetgegevens door de monteur op het tablet laat vervolgens blijken of de meet waarde daadwerkelijk fout is.

De meting stopt, zodra het instrument wordt losgekoppeld van het testpunt. Hierna vraagt de smartglass of de meting mag worden opgeslagen in de database. Een spraakcommando of een optie in de card viewer kan het verzoek bevestigen of annuleren. Wanneer alle metingen zijn beëindigd wordt de measurement-modus afgebroken.

Support mode

Een uitgebreide beschrijving van de support mode is te vinden in appendix O.

4.5.4 Card viewer Options

De card viewer bevat verschillende kaarten met extra mogelijkheden. De card viewer geeft altijd maar één kaart weer. De touchpad maakt het mogelijk om door de kaarten te navigeren. De kaarten van de card viewer zijn opgedeeld in drie groepen. Deze groepen zijn weergegeven in figuur 4.29. De linkergroep, bereikbaar door naar achteren te swipen op het touchpad, is een statische kaartenlijst. Het geeft de volgende kaarten weer:

- Workorders

De huidige actieve werkorder, of een verzameling van geagendeerde werkorders. Wanneer er geen werkorders zijn gepland is deze kaart niet zichtbaar.

- Notes
Een verzameling van urgente notities. Urgente notities zijn altijd zichtbaar op de smartglass, omdat deze het label 'urgent' hebben en snel opgelost moeten worden. Andere (informatieve) notities zijn alleen toegankelijk op het tablet, of wanneer de monteur op locatie is. Wanneer er geen urgente notities zijn is de Notes-kaart niet zichtbaar.
- Team
Een kaart met de teamleden en de teamleider. Vanuit hier is het mogelijk om een video-, audiogesprek of virtual chat te starten.
- Settings
Instellingen van de smartglass.

De middelste groep bestaat uit één kaart. Deze kaart geeft de systeemmodus weer. Zodra het systeem zich in de Inspector-modus bevindt bijvoorbeeld, geeft deze kaart extra informatie over onderdelen of notities. Iedere keer als de gebruiker op de touchpad tapt, wordt deze middelste kaart als eerste weergegeven.

De rechtergroep, bereikbaar door naar voren te swipen, is een dynamische kaartenlijst. Zodra een monteur een urgente



Figure 4.27: Virtual support chat

notitie plaatst, wordt deze direct (in iedere modus) weergegeven op de card viewer van elk teamlid. De kaart verdwijnt na een aantal seconden. Deze 'inkomende'-kaarten zijn verzameld in de rechtergroep. Mogelijke inkomende kaarten kunnen zijn:

- Nieuwe geagendeerde werkorders (Workorder-kaart)
- Inkomende (gemiste) gesprek, of virtual support chat (Team-kaart)
- Urgente notities (Notes-kaart)

Er bestaan verschillende soorten type kaarten. Iedere type kaart heeft zijn eigen verzameling menuopties. Menuopties worden toegankelijk door op een kaart te tappen. Menuopties worden weergegeven als een reeks-subkaarten en zijn eveneens toegankelijk met het touchpad. Een menuoptie kan ook direct worden aangeroepen door een spraakcommando te gebruiken. Appendix M geeft de menuopties weer per type kaart.

4.5.5 Technical Implementation

Om de genereerde visualisaties (de annotaties) van de field viewer correct te plaatsen op de werkelijke wereld, moet de smartglass weet hebben van de omgeving. De beelden van de camera worden gebruikt om herkenning van de werkelijke wereld mogelijk te maken.

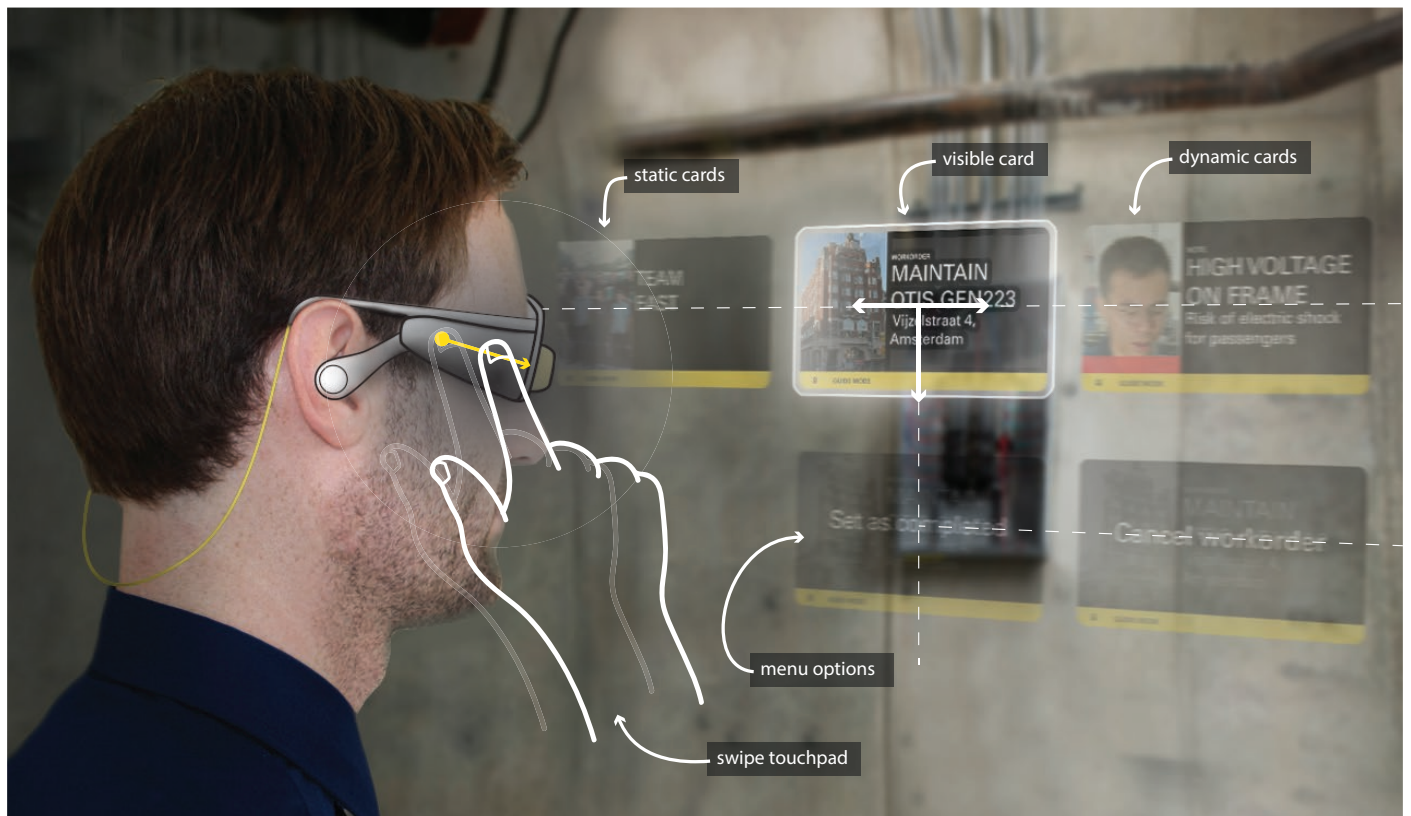


Figure 4.28: Card viewer navigation based on Google Glass UI. Photo model Mark Grob

Alternatieve herkenningmethoden zijn niet nauwkeurig genoeg om de visualisaties correct te positioneren. Beeldherkenning is succesvol indien de omgeving voldoende en op eenzelfde manier belicht worden. De werklocatie wordt belicht door werklampen (zoals TL-licht) en is daardoor erg constant. Desondanks kunnen sommige onderdelen in schakelkasten slecht belicht zijn; extra verlichting is in deze gevallen noodzakelijk om beeldherkenning te verbeteren.

In real-time worden de beelden van de camera vergeleken met de eerder opgenomen point clouds van de werklocatie, om tracking van belangrijke elementen in de omgeving mogelijk te maken. De eerder opgenomen globale point clouds zijn opgeslagen in een Location in de datastructuur. Deze beeldherkenningstaak heeft veel rekenkracht nodig om de visualisaties zonder merkbare vertragingen weer te geven. Waarschijnlijk is een externe zakcomputer noodzakelijk om aan de rekenkracht-eis te voldoen.

De mate waarin de smartglass in staat is om de visualisaties op de correcte plek te positioneren, is direct afhankelijk van de

resolutie van de point cloud. Een monteur kan een onderdeel op 10 cm afstand bekijken of op 1 meter. De range waarin annotaties door het systeem op de juiste plek kunnen worden geplaatst geeft direct de eis van de minimale resolutie van de point cloud in die regio. De resolutie van de point cloud dient hoger te zijn in gebieden waar zich veel details bevinden, zoals een aangrijpingspunt van een device of module-annotatie. De hoogste resolutie is noodzakelijk bij testpunten, omdat testpunten over het algemeen een relatief klein oppervlak in de werkelijke wereld beslaan.

Indien de resolutie van de point cloud in een zeker gebied te beperkt is, kan de smartglass vragen of de monteur in wil zoomen op een aantal punten. Tijdens dit proces worden delen van de huidige point cloud aangevuld en verder gedetailleerd. Deze nieuwe point cloud wordt opgeslagen in de online database en is vervolgens toegankelijk voor iedereen. Hiermee blijft het systeem zichzelf onderhouden, door regelmatig de point cloud te verversen of uit te breiden.

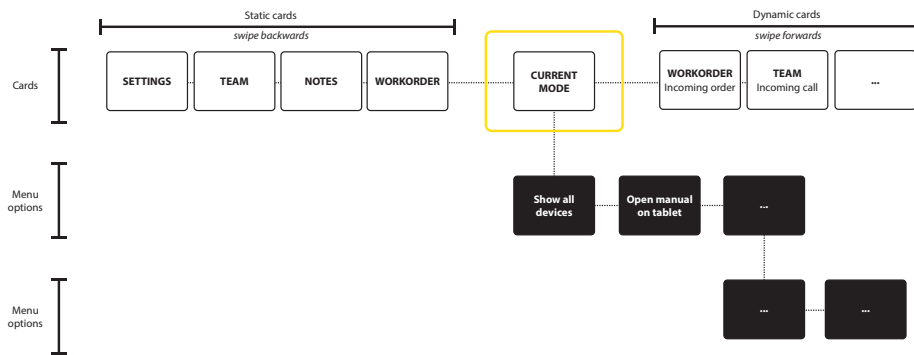


Figure 4.29: Card viewer structure

4.6 The Tablet

4.6.1 Functions

Het tablet biedt toegang tot data in de database. In reguliere situaties voldoet de functionaliteit van de smartphone. Wanneer de monteur een specifieke meting moet opzoeken, een uitgebreide notitie wil documenteren of een handleiding van een onderdeel wil openen, biedt de tablet uitkomst. De meest kenmerkende functies zijn hieronder opgesomd. Figuur 4.30 geeft een tablet weer, terwijl de monteur aan het werk is. Figuur 4.31 illustreert de user-interface van het tablet.

- Het weergeven van een handleiding
- Het zoeken van een meting of apparaat
- Bewerken van een notitie
- Weergeven van een (dubbele) meting
- Beheren van instrumenten

4.6.2 Hardware set-up

Het is van belang dat de monteur geen extra tablet mee hoeft te nemen naar zijn werklocatie. Er zijn twee oplossingen om het probleem te verhelpen.

Ten eerste is het mogelijk om de specifiek ontworpen tablet, het Fluke tablet, de mogelijkheid te geven om organisatie afhankelijke software te installeren. De OTIS eService applicatie wordt daarmee geïnstalleerd op het Fluke tablet. Voordeel van deze oplossing is dat de monteur gebruik maakt van een Fluke tablet, dat specifiek ontworpen is voor zijn context (door toevoegingen zoals een magneethanger en toetsenbord). Nadeel van deze oplossing is de hogere kostprijs van het Fluke InspectAR systeem en de



Figure 4.30: Tablet in elevator shaft

platformverplichting richting klanten toe. Klanten van Fluke InspectAR moeten haar software (OTIS eService) omschrijven naar het platform waar het Fluke tablet gebruik van maakt (Windows, Android, iOS).

Ten tweede is het mogelijk om de Fluke InspectAR tabletapplicatie platform- en apparaat-onafhankelijk te maken. Hierdoor kan Fluke InspectAR geïnstalleerd worden op het werktabelt dat de monteur al bij zich heeft. Gevolg hiervan is dat het tablet

niet gespecificeerd kan worden voor zijn context. Daarnaast moet de Fluke InspectAR tabletapplicatie voor verschillende platformen worden geschreven. Voordeel is de lagere kostprijs van het systeem.

De meest geschikte oplossing is (nog) lastig vast te stellen. Mogelijk is de rekenkracht van de smartglass te beperkt, wat het noodzakelijk maakt om het tablet rekenintensieve taken uit te laten voeren. Alleen tablets met een specifieke hardware set-up zijn in dat scenario geschikt om deze taken uit te voeren. De tweede oplossing valt daarmee volledig af. Vervolgonderzoek naar de technische randvoorwaarden zullen inzicht geven in dit vraagstuk. De ontwikkelingen op het gebied van AR-hardware versnellers, zoals de AREngine, zijn veelbelovend [Metaio, 2014].



Figure 4.31: User-interface specification of tablet

4.7 Operational Scenario



Figure 4.32: Service Technician at work location. Photo model Mark Grob

4.7.1 Purpose

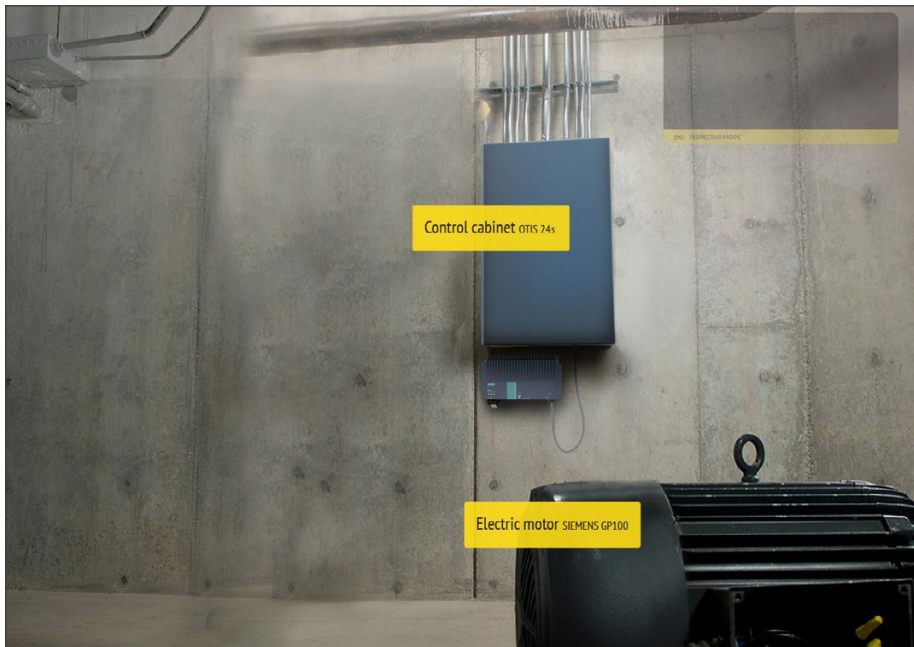
Het volgende scenario illustreert Fluke InspectAR in de praktijk. Het scenario beschrijft een onbekend probleem waarvan de monteur de oorzaak moet herleiden. Het scenario doet, door het beperkt aantal screenshots, onterecht vermoeden dat het probleem opgelost kan worden via een vast stappenplan. In de werkelijkheid is het troubleshooten een iteratief proces. Het operationeel scenario tracht de essentiële functies van Fluke InspectAR weer te geven, in de context van het oplossen van een probleem. Op deze wijze is het scenario nog steeds geschikt om de probleemstelling te reflecteren, maar blijft het aantal screenshots beperkt.

4.7.2 Scenario

De facilitairmanager van een hotel heeft de OTIS Service Line gebeld omdat de ritkwaliteit van één van haar liften drastisch is afgenomen. De liftbeweging van de liftkooi voelt tijdens sommige ritten niet soepel aan, wat een onprettig en onveilig gevoel veroorzaakt bij de hotelgasten. De facilitair manager heeft de service line gebeld omdat het probleem de laatste week vaker voorkomt.

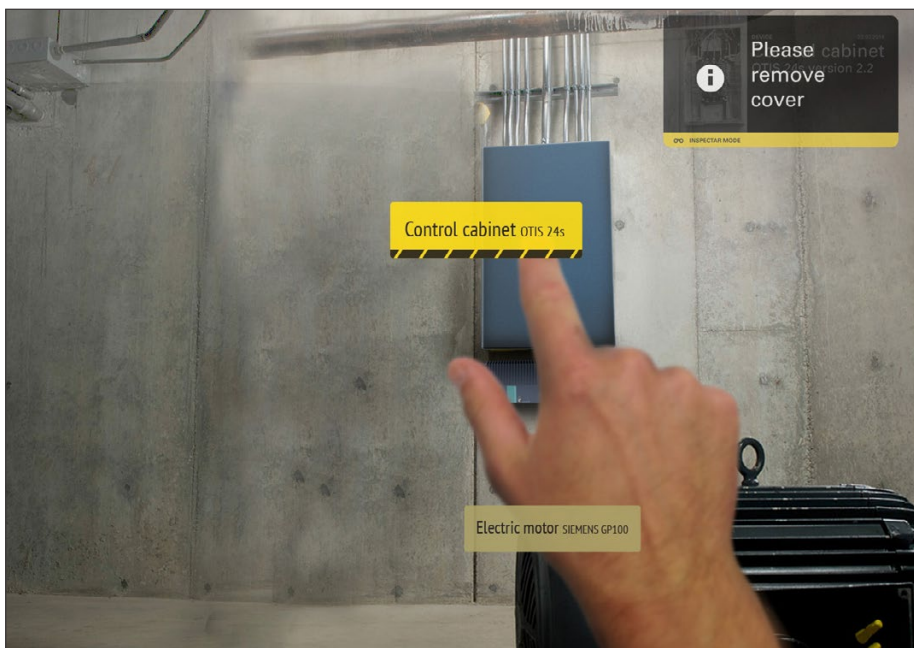
Het serviceteam heeft de probleembeschrijving van de manager onderzocht en vergeleken met eenzelfde beschrijvingen. Helaas hebben de ingenieurs geen eenduidig vermoeden wat de oorzaak van het probleem zou kunnen zijn. De ingenieurs verwachten problemen met de aandrijving van de lift. Zowel de schakelkast, als de motor wordt onder de loep genomen. De frequentieregelaar

is onlangs nog vervangen en lijkt niet de oorzaak van het probleem te zijn. De ingenieurs van het service team plaatsen een werkorder, zodat een monteur met storingsdienst de locatie spoedig gaat bezoeken. De schakelkast en de motor worden gekoppeld aan de werkorder. Een monteur vertrekt in zijn bedrijfswagen naar het hotel. De monteur stelt de facilitairmanager op de hoogte van zijn komst. Bij aankomst navigeert de monteur met behulp van zijn smartglass naar de machinekamer van de lift. Zijn gereedschappen neemt hij mee naar de werklocatie.



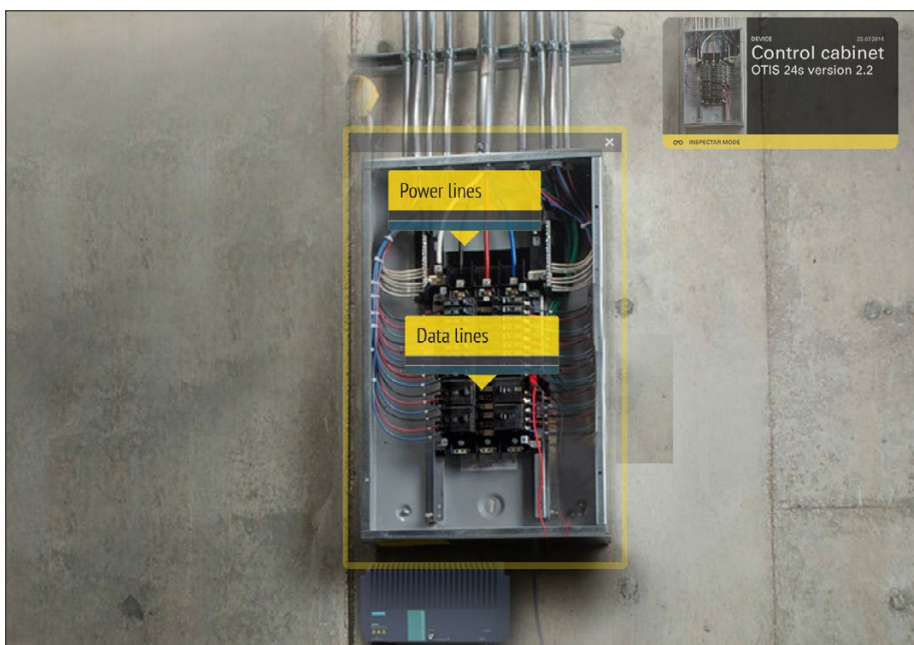
1

Bij aankomst in de machinekamer stopt de smartglass met navigeren en geeft het de hoofdonderdelen van de lift weer. In één opslag ziet de monteur de desbetreffende elektromotor en de schakelkast die de digitale aanstuursignalen doorstuurt. De smartglass is nu actief in de *inspectar-modus*.



2

De monteur onderzoekt eerst de schakelkast. Hij wijst naar de Control Cabinet annotatie, weergegeven op de schakelkast. De annotatie wordt groter en een gestreepte progressbar verschijnt. De progressbar loopt binnen één seconde vol. Als de monteur gedurende één seconde naar de annotatie blijft wijzen, worden de modules van de Control Cabinet zichtbaar.

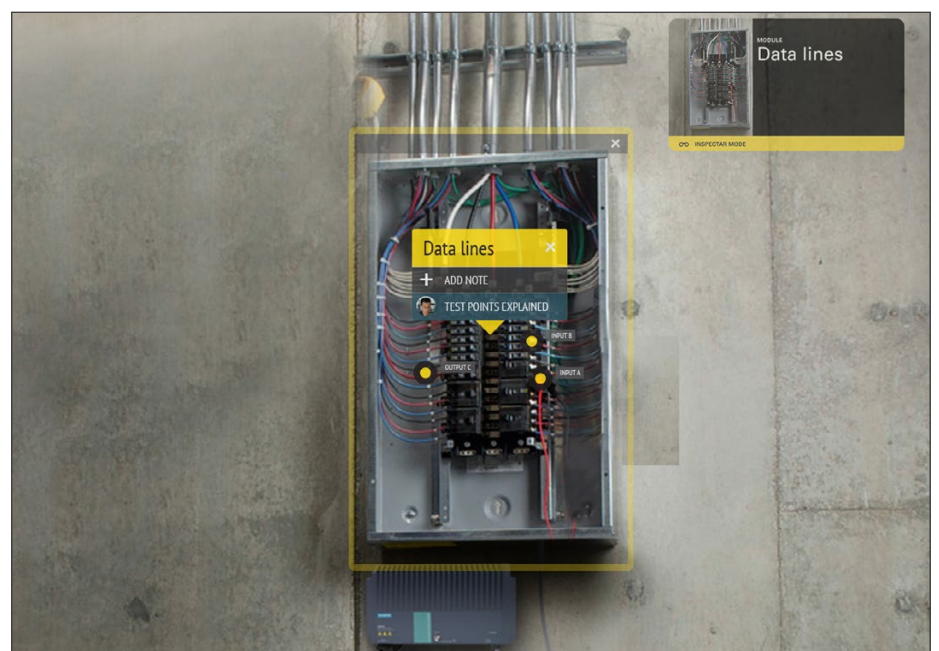
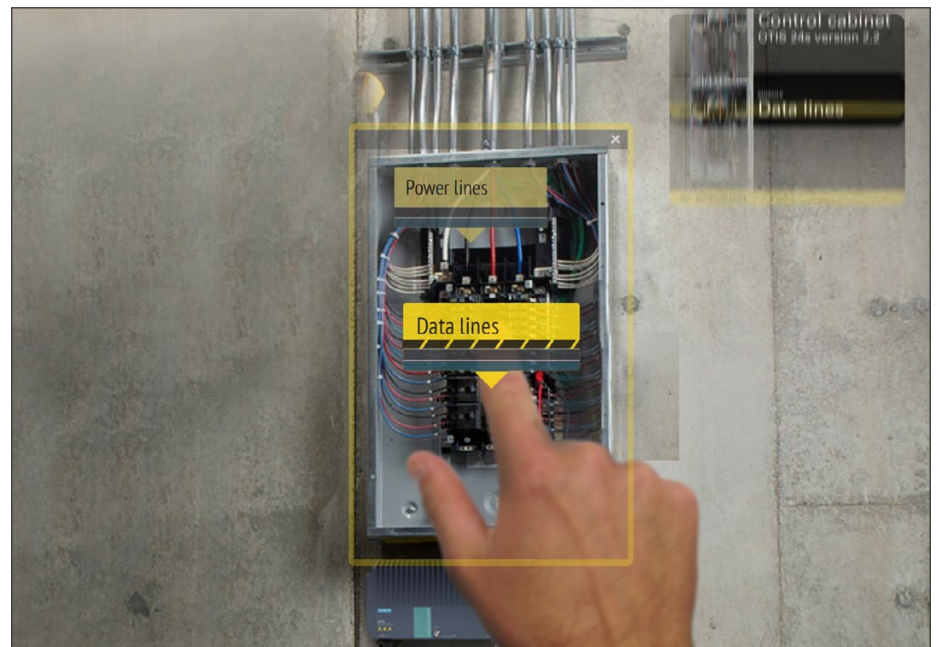


3

De Control Cabinet bevat de modules Power lines en Data lines. De gekleurde lijnen aan de onderkant van iedere module-annotatie geven aan wat voor soort notities gekoppeld zijn aan de module. Data lines heeft alleen een informatieve notitie. De card viewer geeft een beschrijving van het onderdeel.

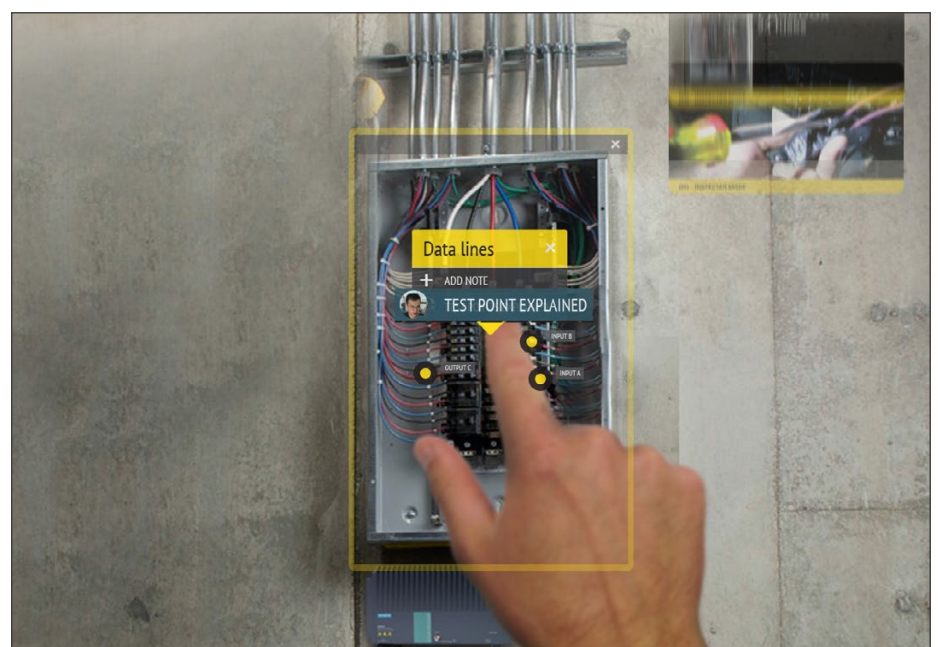
4

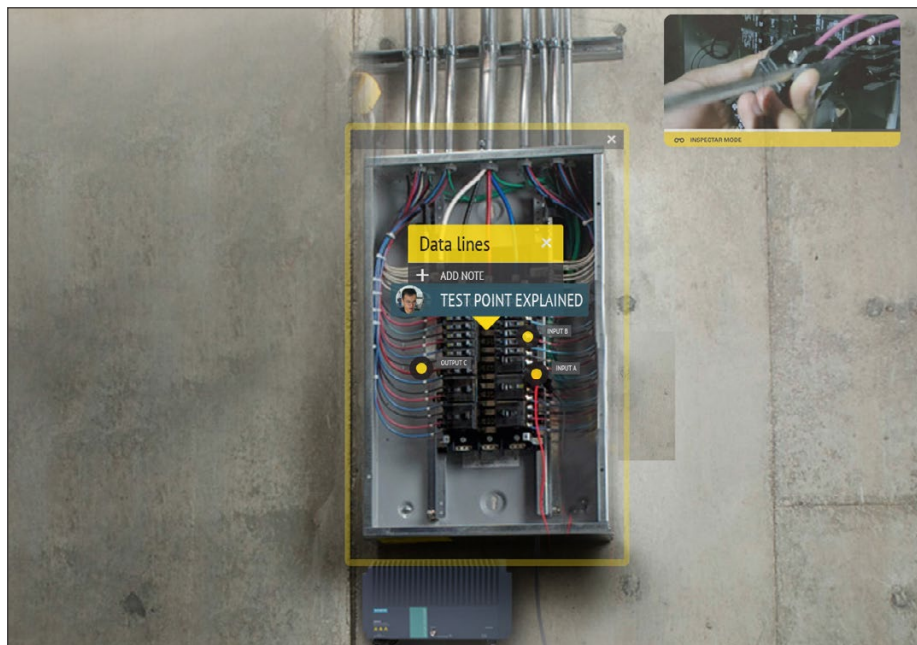
Omdat de monteur de datalijnen van de motor wil onderzoeken, opent hij de module Data lines.



5

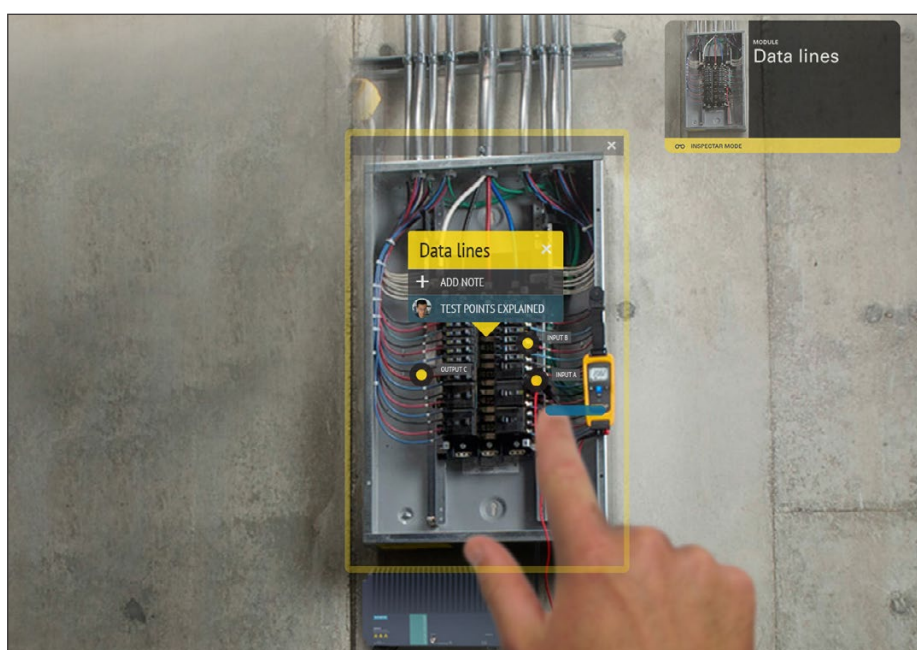
De monteur weet niet precies welke testpunten gebruikt worden voor het uitlezen van de datasignalen van de motor en opent daarom de notitie Test Points Explained. Een collega monteur heeft deze informatieve notitie in het verleden opgenomen om andere collega's van dienst te zijn.





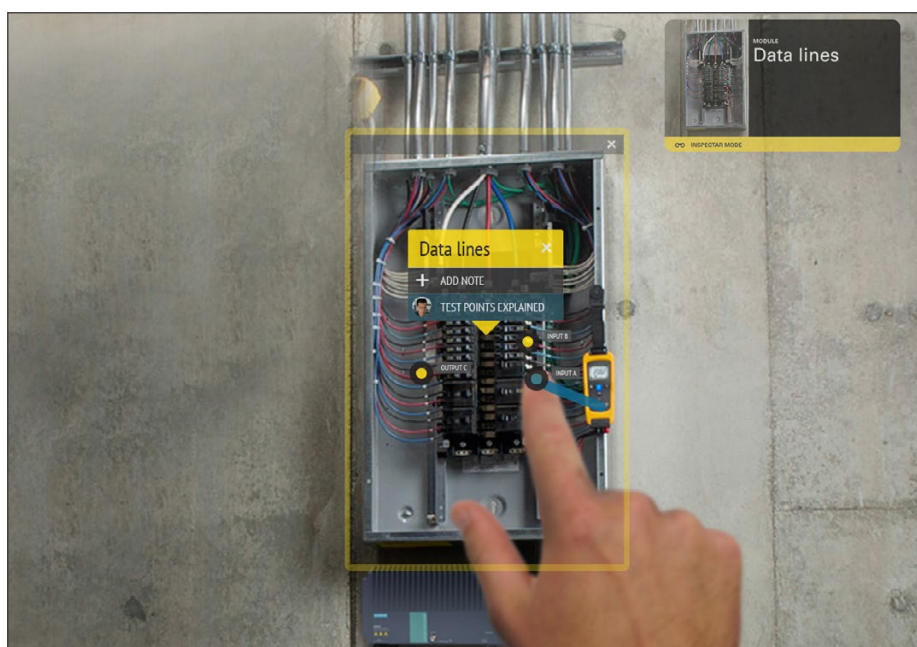
6

Een videoclip wordt op de cardviewer van de monteur weergegeven.



9

Blijkbaar is Input A het juiste testpunt om het datasignaal van de frequentieregelaar naar de motor te controleren. De monteur sluit een draadloze scopemeter aan op het testpunt en het instrument wordt herkend in de virtuele wereld.

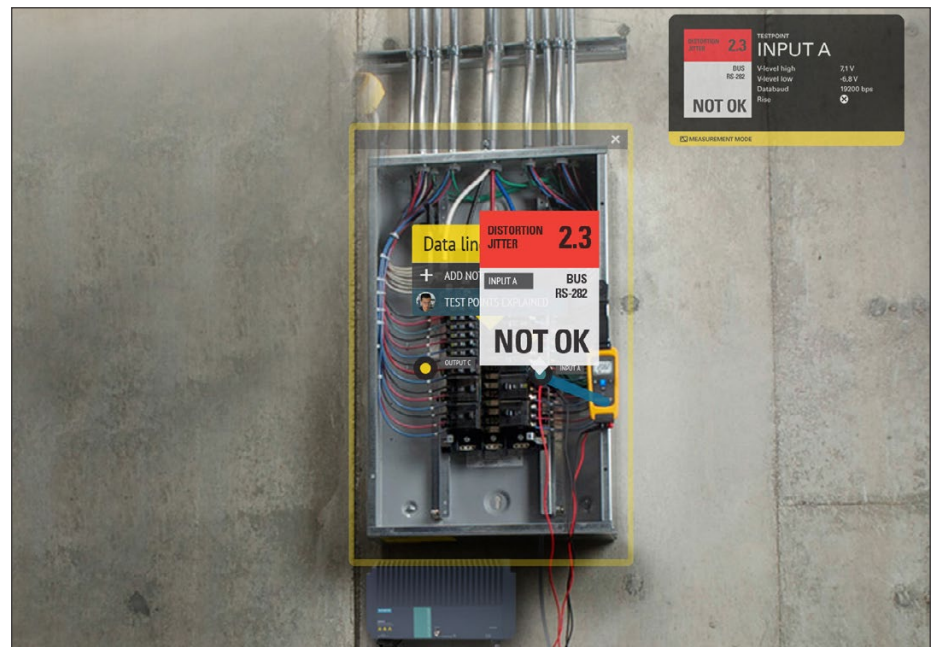


10

De monteur tekent een lijn van het instrument naar het testpunt, om de scopemeter in de virtuele wereld te koppelen.

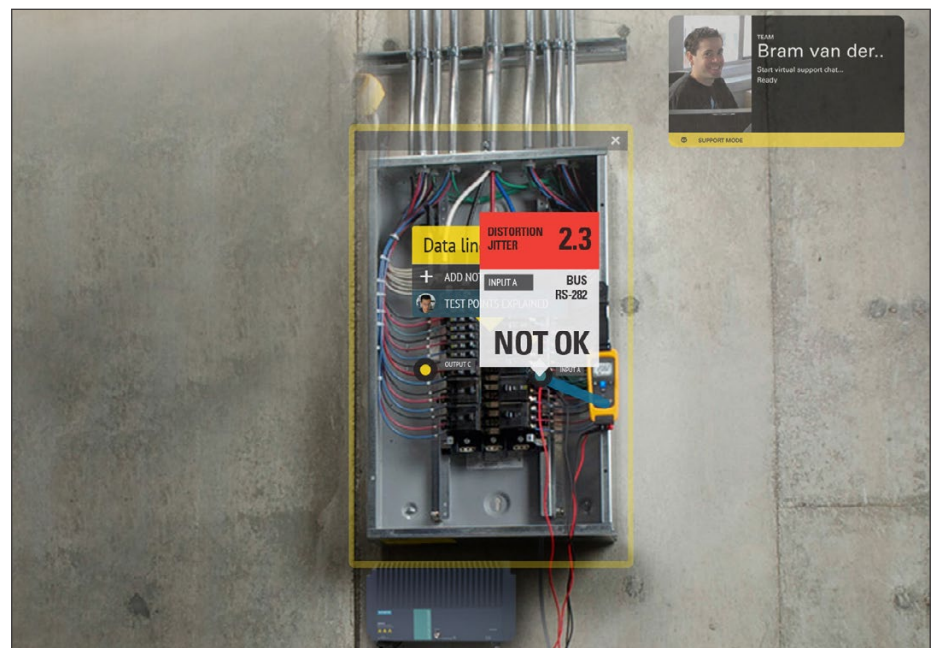
11

De meetresultaten van de scopemeter worde nu in real-time vergeleken met voorgaande metingen. De smartglass bevindt zich in de *measurement-modus*. In de field viewer verschijnt een nieuwe annotatie met de huidige meetresultaten. Uitgebreide meetresultaten zijn zichtbaar in de cardviewer. Het instrument constateert dat het signaal teveel ruis bevat en waarschijnlijk niet naar behoren zal functioneren. Ruis op het signaal kan onder andere ontstaan doordat de kabel wordt gestoord door een sterk magnetisch veld, afkomstig van een voedingskabel of transformator.



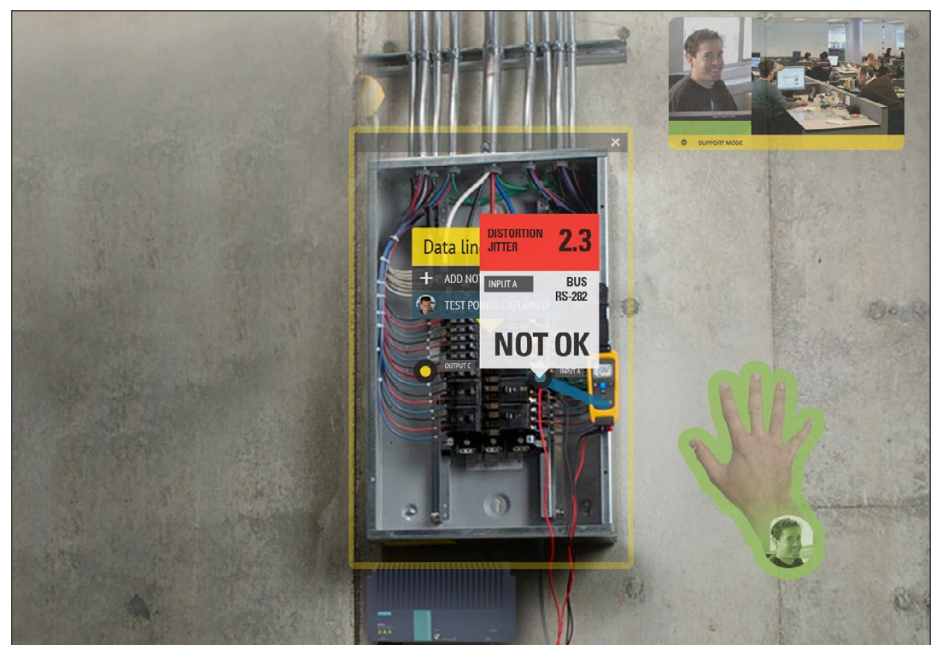
12

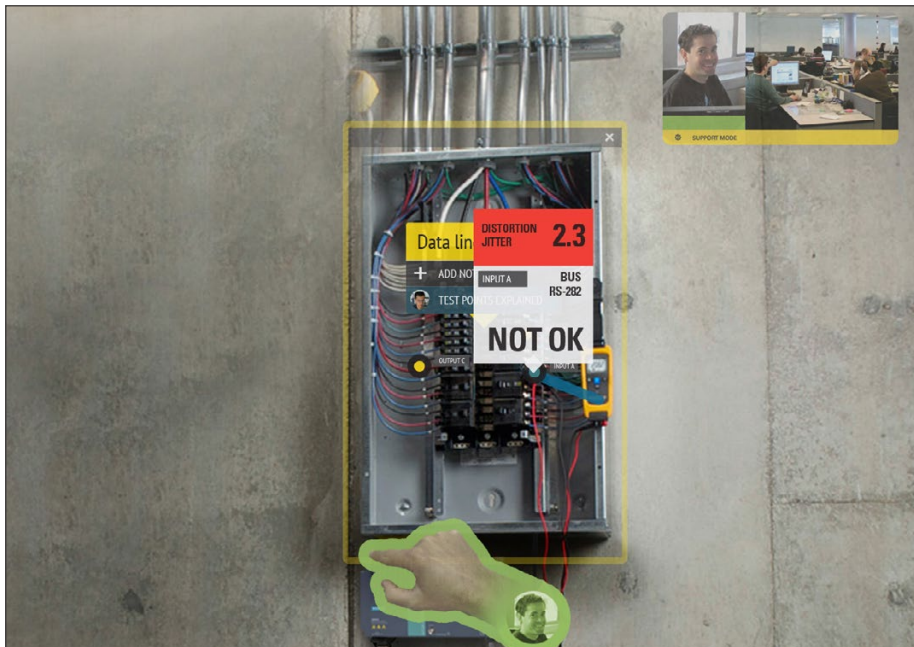
De monteur wil graag overleggen met iemand van het service team, om de vervolgstap in het onderzoek te bepalen. Er zijn veel oorzaken mogelijk en de monteur is benieuwd of een ingenieur van het service team hem op het goede spoor kan zetten. De monteur gebruikt het spraakcommando 'Fluke, start virtual chat with Bram' om een virtual support chat te starten. De smartglass bevindt zich in de *support-modus*.



13

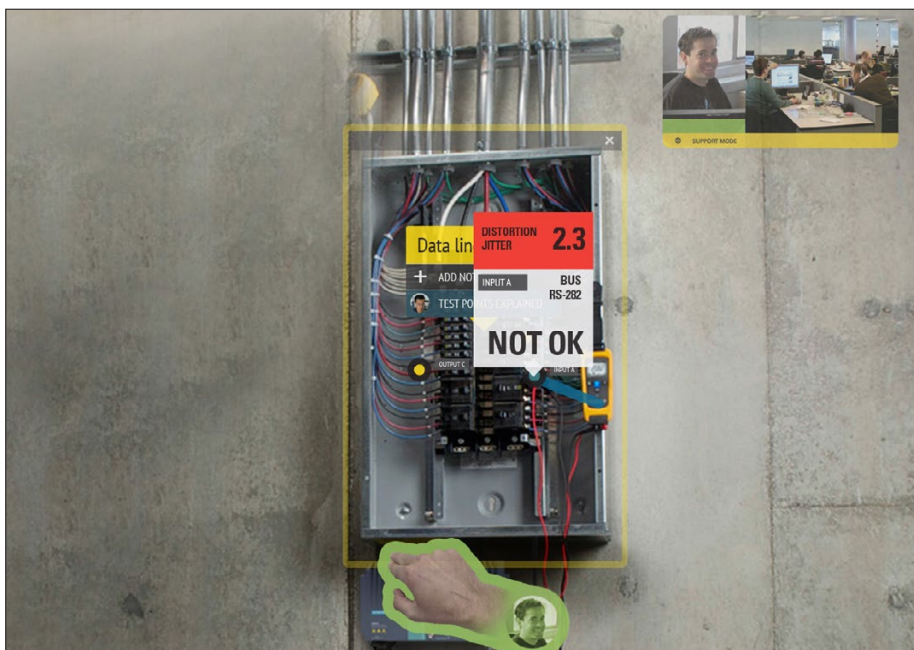
Zodra de ingenieur op kantoor de chat accepteert wordt de verbinding tot stand gebracht. De ingenieur begroet de monteur door met zijn handen te zwaaien. De hand van de ingenieur is zichtbaar op de werklocatie en de monteur en ingenieur kunnen met elkaar spreken.





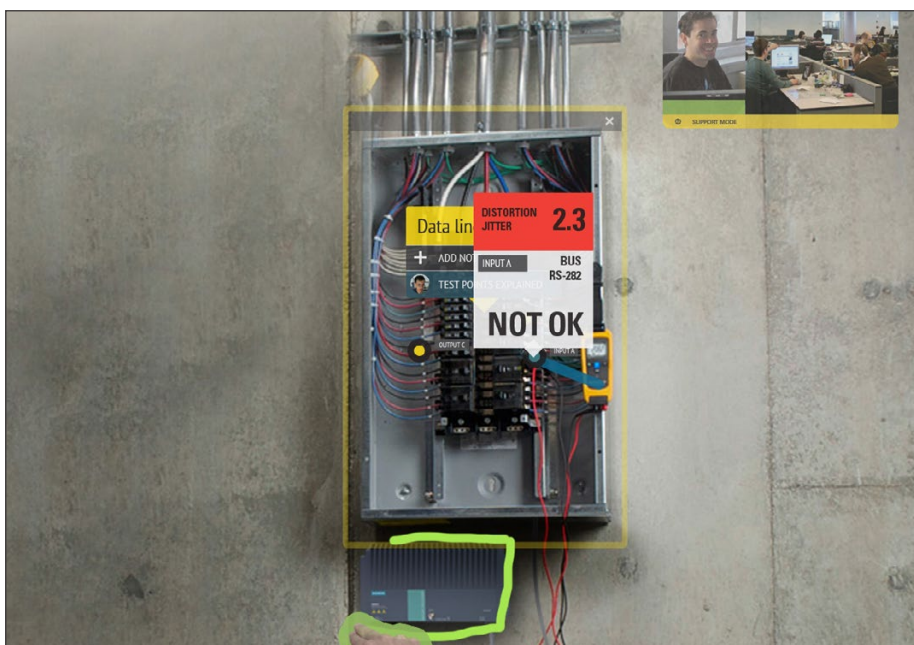
14

De ingenieur kan met zijn hand onderdelen aanwijzen en notities openen. Het valt de ingenieur op dat er een nieuw apparaat is geplaatst onder de schakelkast. Dit apparaat is niet eigendom van OTIS. Doordat de ingenieur regelmatig virtueel aanwezig is op dezelfde locaties, kent hij sommige locaties beter dan de monteur die eens per jaar op de locatie komt.



15

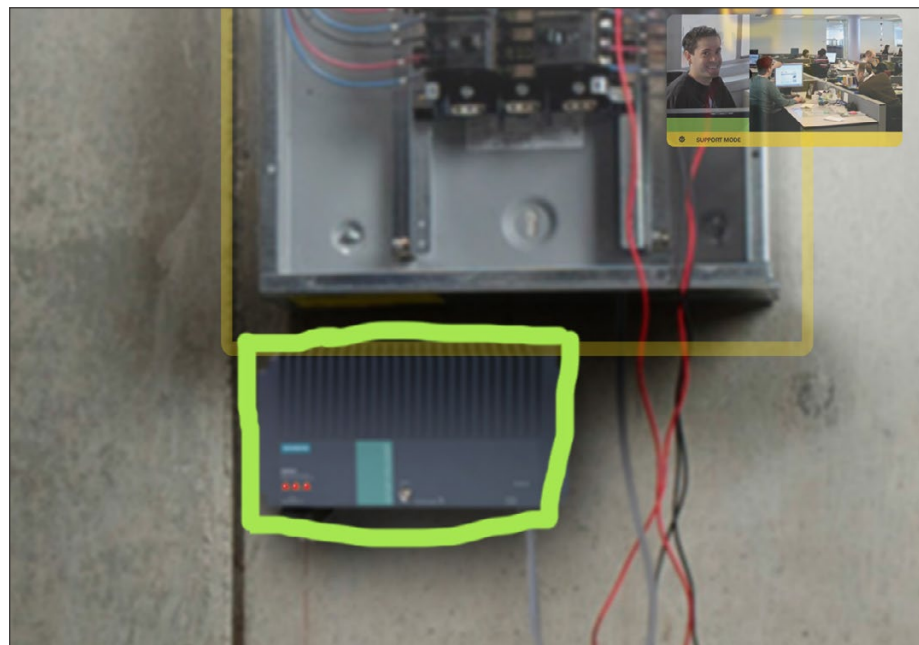
Door met twee vingers te wijzen tekent de ingenieur een sketch om het apparaat. Op deze manier kan de ingenieur gemakkelijk uitleggen welk apparaat hij bedoeld. De ingenieur herkent dat het apparaat een transformator is. Waarom het apparaat hier is geplaatst, is onduidelijk. Desalniettemin kan de transformator zeker de bron van de storing zijn.



16

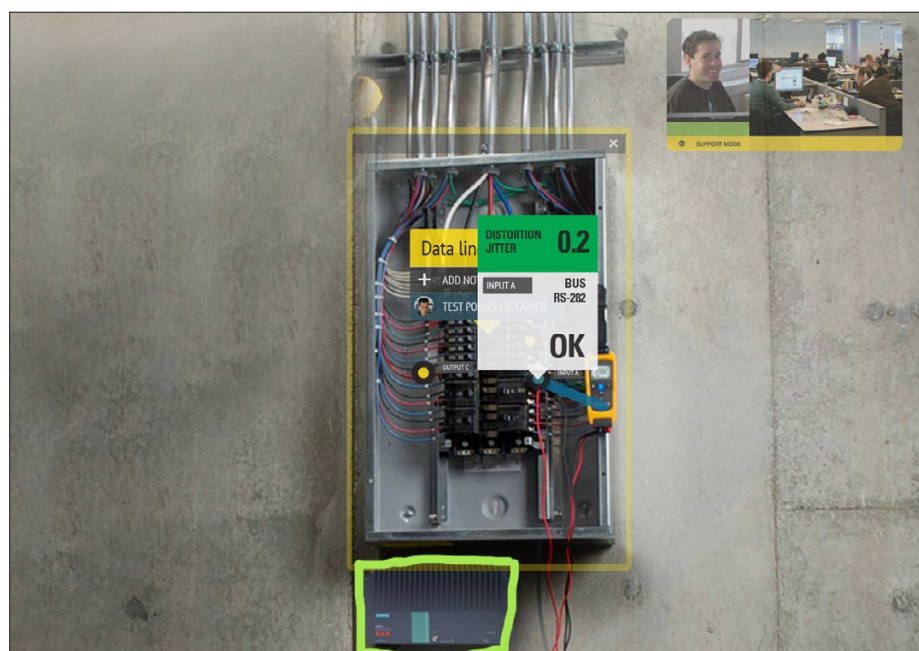
De monteur vraagt de facilitairmanager of het apparaat tijdelijk uitgeschakeld mag worden, om te kijken wat de gevolgen zijn voor het datasignaal.

De monteur schakelt de transformator uit.



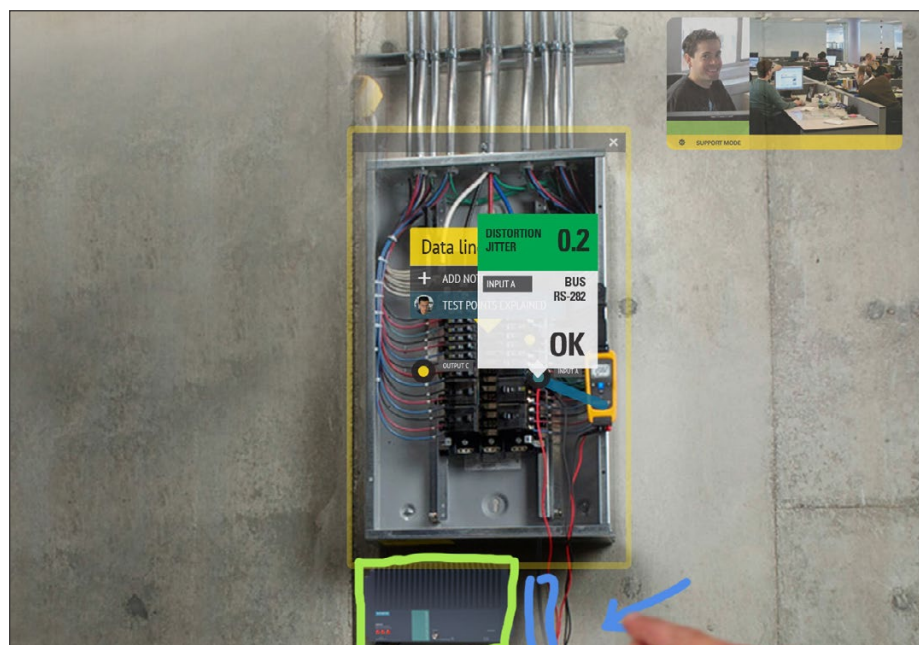
17

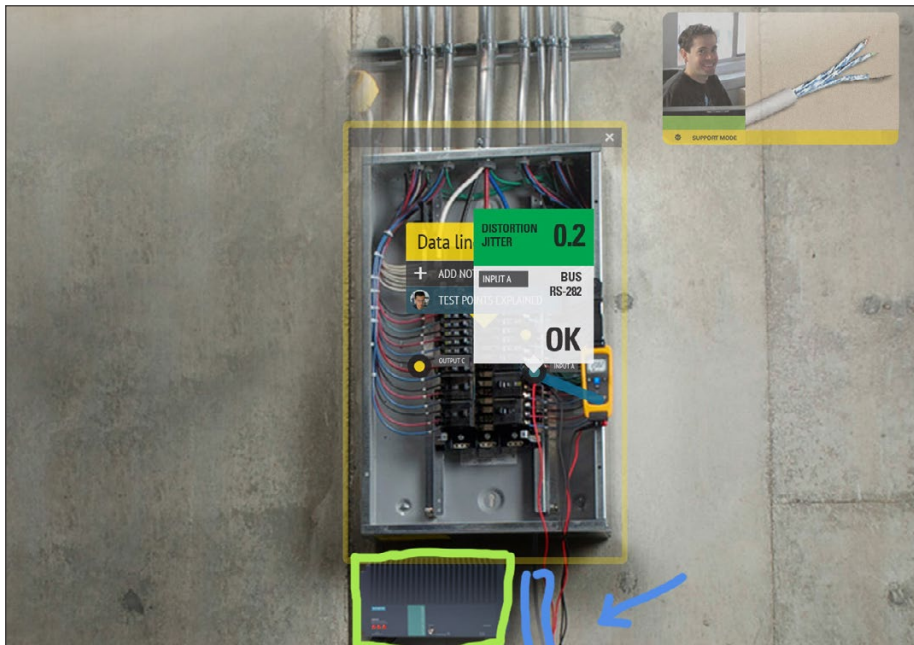
De annotatie van de scopemeter laat zien dat uitschakelen van de transformator het storingsprobleem verhelpt.



18

De ingenieur merkt op dat externe apparaten niet zoveel invloed moeten kunnen hebben op de datakabels van OTIS. Het valt de monteur op dat de transformator aangesloten is op de schakelkast en tekent een sketch om dit te verhelderen. Als de voedingskabel van de transformator nabij de datakabels van de motor liggen, kan dit zeker gevolgen hebben voor de kwaliteit van het signaal.

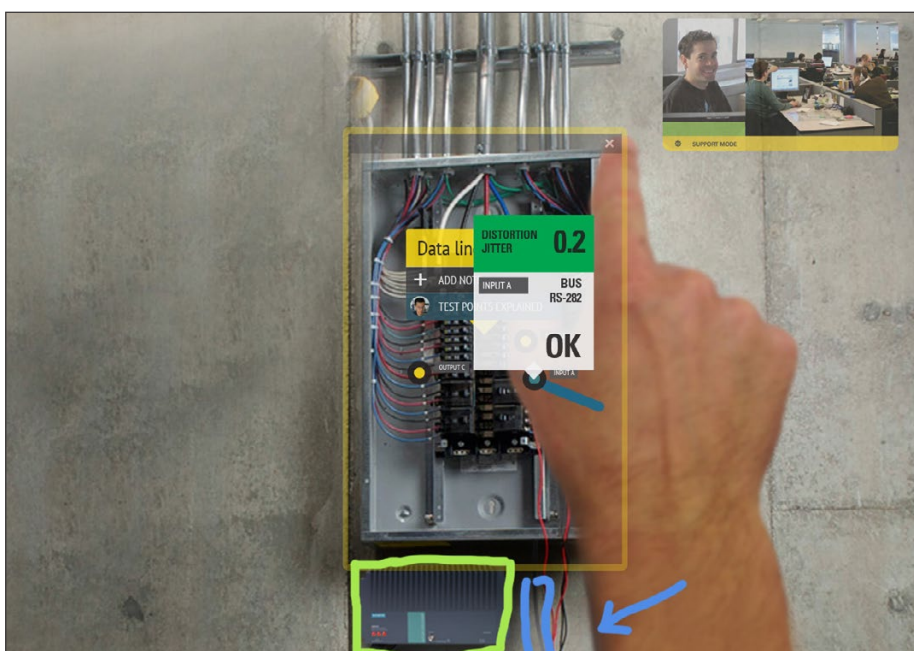




19

De ingenieur laat via de videostream zien hoe de datakabel eruit zou moeten zien. Mogelijk is er een verkeerde kabel gebruikt bij de renovatie van twee jaar terug, wat deze kabel extra gevoelig maakt voor storingen. Na een vervolgininspectie van de monteur, blijkt inderdaad dat de voedingskabel van de transformator langs de datakabel loopt en dat de datakabels van het verkeerde type zijn.

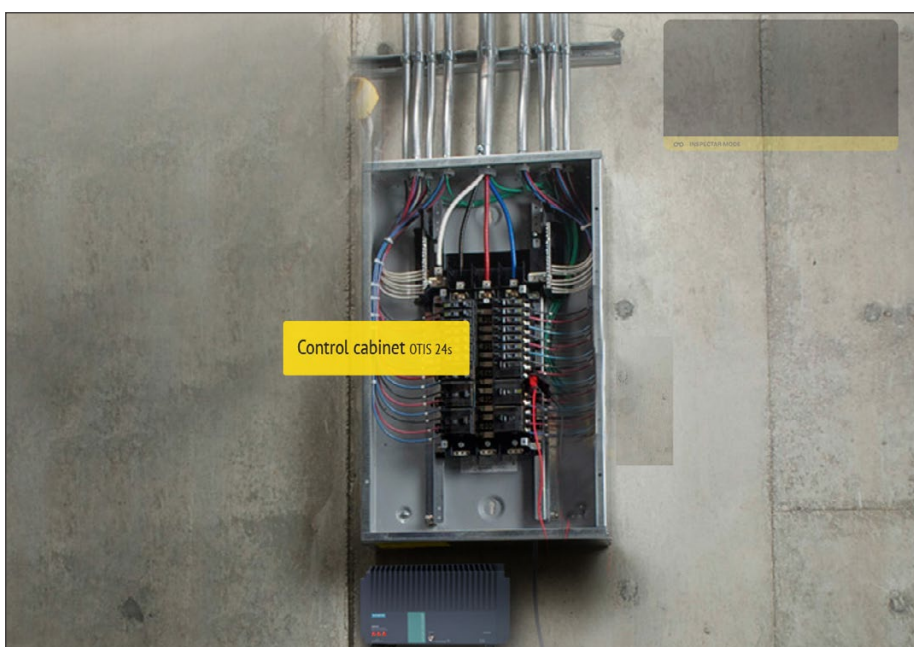
Om het probleem tijdelijk op te lossen besluiten de monteur en de ingenieur om de datakabels af te schermen. Tijdens de grote onderhoudsbeurt van over een maand wordt de huidige datakabel vervangen met de juiste kabel, om in het vervolg soortgelijke problemen te vermijden.



20

De monteur sluit het apparaat, stopt de meting en beëindigd de virtual chat. Vervolgens schermt de monteur de datakabel af. Tot slot gebruikt de monteur zijn tablet om de werkorder te voltooien en het werkorder van de onderhoudsbeurt aan te passen.

Na een aantal testritten lijkt de lift weer optimaal te functioneren. Het probleem is succesvol opgelost.



4.7 Discussion and Conclusion

Het hoofdstuk System Design geeft een proof of concept van een Augmented Reality-systeem dat de liftmonteur ondersteunt bij het uitvoeren van zijn taken. Het hoofdstuk sluit af met een operationeel scenario om de toegevoegde waarde van het systeem te illustreren.

Het systeem creëert een platform om kennis eenvoudig te delen en te koppelen aan fysieke objecten. De mentale vertaalslag van een beschrijving of opmerking uit een handleiding is hierdoor overbodig geworden. Het systeem ondersteunt monteurs bij het vinden van onderdelen, enerzijds door monteurs te navigeren naar het onderdeel en anderzijds doordat het systeem een beschrijving projecteert op ieder relevant onderdeel. Het interpreteren van metingen wordt eenvoudiger doordat meetresultaten vergeleken worden met voorgaande metingen. Een monteur schakelt een virtuele hulplijn in met een expert om oorzaken te herleiden die buiten het model van de werklocatie vallen.

Eindconclusie

De hypothese dat ondergeschoolde liftmonteurs storingen sneller oplossen met behulp van Augmented Reality, is zeer aannemelijk dankzij het operationele scenario weergegeven in hoofdstuk 4.7. Monteurs herkennen storingen eerder (door het delen van kennis) en herleiden de oorzaak eerder van een unieke storing door de virtuele aanwezigheid van experts. Kortom, Augmented Reality maakt communicatie tussen monteur en expert gemakkelijker.

De conventionele manier van communicatie over een telefoonlijn heeft veel beperkingen. Tijdens een gesprek over een telefoonnetwerk probeert de monteur te beschrijven wat hij ziet. De vertaalslag van en naar de taal zijn dankzij Fluke InspectAR overbodig geworden. De expert is virtueel aanwezig en veel van zijn zintuigen worden op identieke wijze geprikkeld als die van de monteur.

Vervolgonderzoek

Ondanks dat het operationeel scenario de gestelde hypothese niet verwerpt, zijn er een aantal vervolgstappen om de haalbaarheid van het beschreven concept in meer detail te toetsen.

Ten eerste moet het beschreven ontwerp geëvalueerd worden met de eindgebruikers. Ondanks het gebruiksonderzoek zijn er na het eerste ontwerp genoeg vervolgvragen gerezen om de ontwerpbeslissingen te verifiëren met de eindgebruikers. Zeer waarschijnlijk hebben de monteur en de service engineer opmerkingen over het systeem. Het operationeel scenario wordt als hulpmiddel gebruikt voor de evaluatie. Door de visuele vorm van het scenario vormen de eindgebruikers een correct mentaal model van het systeemontwerp. De resultaten van de evaluatie maken het mogelijk om gerichte ontwerpalternatieven te verzinnen op het systeemontwerp. Alternatieven worden bedacht op zowel systeemniveau als detailniveau (wijzigingen in de architectuur, gebruiksinterface, technische implementatie etc.).

Het rapport heeft een aantal aannames gedaan over de ontwikkeling van Augmented Reality (zie hoofdstuk 1.6). Voordat het systeemontwerp daadwerkelijk ontwikkeld kan worden, moeten deze technische problemen opgelost zijn. Naast deze algemene technische problemen van Augmented Reality, kent het systeemontwerp nog een aantal specifieke technische uitdagingen:

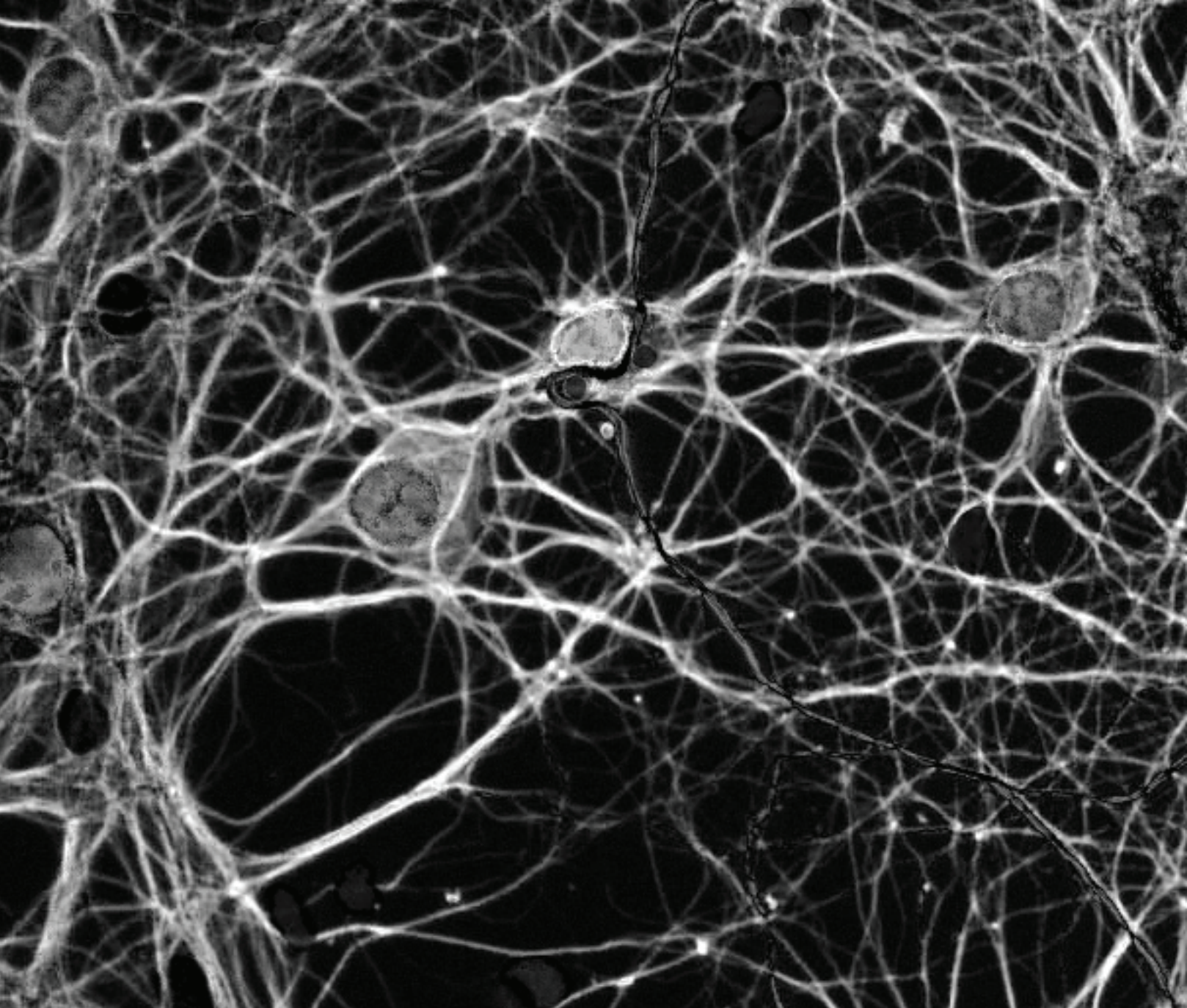
- Testpunten zijn (onder andere) gekoppeld aan draden. Draden in een behuizing van een onderdeel zijn chaotisch en niet statisch georganiseerd. Daarnaast komt het vaak voor dat draden met eenzelfde kleur elkaar overlappen. De huidige herkenning is gebaseerd op beeldherkenning wat een statisch wereld veronderstelt. Hoe gaat het systeem een testpunt herkennen als de werkelijke wereld enigszins veranderd? Kortom, hoe weet het systeem welk testpunt verbonden is aan welke draad?
- Hoe wordt een point cloud van de omgeving gemakkelijk gescand? Theoretisch is het mogelijk om beelden van de camera van de smartglass te gebruiken om een point cloud van de werklocatie te genereren? Is deze techniek voldoende nauwkeurig of is een speciale (laser-)scanner noodzakelijk? Hoe worden de point clouds onderhouden en opgeslagen in de database? Wie draagt de verantwoordelijkheid voor het onderhoud van de point clouds?

Fluke Connect is sinds mei 2014 op de markt verkrijgbaar. Fluke InspectAR gebruikt veel ideeën van Fluke Connect. De resultaten van de gebruiksevaluaties van Fluke Connect zijn zeer bruikbaar voor het genereren van ontwerpalternatieven voor het systeemontwerp.

Mogelijk is Fluke InspectAR ook toepasbaar in andere onderhoudssectoren. Vervolgonderzoek moet uitwijzen of het huidige product ook voldoet voor een andere context. Het opnemen van het volledige Fluke instrumenten-scala is een eerste stap, om onderhoudssectoren in andere domeinen (volledige focus op het mechanische domein bijvoorbeeld) te bereiken.

Zodra er een definitief eindconcept van het systeem ontwikkeld is, dient er een prototype van het ontworpen te worden. Hiermee kan kwantitatief aangetoond worden of Fluke InspectAR daadwerkelijk storingen sneller laat oplossen.





- 13thLab** (2014), 'Visual SLAM Car Navigation', <http://www.youtube.com/watch?v=Q3EMgG16E5s#t=22> (06-06-2014)
- 13thLab** (2014), 'Visual SLAM', <http://www.youtube.com/watch?v=e7bjslqlbS0> (06-06-2014)
- Azuma, T.** (1997), A Survey of Augmented Reality, 'Teleoperators and Virtual Environments', 6, 4, p. 355-385
- Bengler, K., Passaro, R.** (2006), 'Augmented Reality in Cars: Requirements and Constraints', <http://www.ismar06.org/data/1a-BMW.pdf> (10-06-2014)
- Bimber, O., Raskar, R.** (2005), Modern Approaches to Augmented Reality, 'Computer Graphics and Interactive Technique', ISBN 1-59593-364-6
- BMW** (2013), 'Augmented Reality', http://www.bmw.com/com/en/owners/service/augmented_reality_introduction_1.html (20-06-2014)
- Bonnema, G.M. e.a.** (2013), 'Systems Design and Engineering', University of Twente
- Connectar** (2013), 'Connectar', <http://www.youtube.com/watch?v=xQwj4UgkDeU> (20-06-2014)
- CyberGlove** (2014), 'CyberTouch', <http://www.cyberglovesystems.com/products/cybertouch/overview> (02-07-2014)
- Dias, J.M.S. e.a.** (2003), Gesturing with Tangible Interfaces for Mixed Reality
- Eger, A. e.a.** (2008), 'Productontwerpen', ISBN 9789059312494
- EyeTech** (2014), 'EyeTech Eye', <http://www.eyetechds.com/etoem-aeye.shtml> (02-06-2014)
- Feiner, S. e.a.** (1993), Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance, 'Communications of the ACM', 36(7), p. 53-62
- Fluke** (2009), 'Industrial Bus Health testing with Fluke 125 Industrial ScopeMeter', <http://www.testequity.com/documents/pdf/Industrial-Bus-Health-Testing.pdf> (28-08-2014)
- Fluke** (2014), 'Fluke Connect', <http://en-us.fluke.com/products/fluke-connect/> (06-07-2014)
- Fraunhofer IGD** (2013), 'Telemaintenance', <http://www.igd.fraunhofer.de/en/Institut/Abteilungen/Virtuelle-und-Erweiterte-Realit%C3%A4t/Projekte/Telemaintenance-Augmented-Reality> (02-07-2014)
- Furth, B.** (2011), 'Handbook of Augmented Reality', Springer New York
- Geomagic** (2014), 'Touch Haptic Device', <http://geomagic.com/en/products/phantom-omni/overview> (02-07-2014)
- Google** (2013), 'The Google Glass Project', <http://www.google.com/glass/start/> (02-06-2014)
- Google** (2013), 'Voice Revisited', http://www.youtube.com/watch?v=yiQX-_Y0gms 2013 (02-06-2014)
- Google** (2014), 'Glass Design Principles', <http://developers.google.com/glass/design/index> (28-08-2014)
- Google** (2014), 'Voice Command Checklist', <http://developers.google.com/glass/distribute/voice-checklist> (28-08-2014)
- Grob, M.B.C.** (2011), 'Future concepts for the Fluke ScopeMeter', University of Twente
- Hoshi e.a.** (1996), Off-axial HMD optical system consisting of aspherical surfaces without rotational symmetry, 'Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems III', vol. 2653, p. 234-242
- Hout, M** (2008), Los storingen doelgericht op, 'Maintenance Management', 11, p. 17-19

- Innovega** (2014), 'iOptik', <http://innovega-inc.com/> (08-07-2014)
- Krevelen van, D.W.F., Poelman, R.** (2010), A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations, *'The International Journal of Virtual Reality'*, 9, 2, p. 1-20
- Kreylos, O.** (2014), 'Augmented Reality Sandbox', <http://idav.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/SARndbox/> (02-06-2014)
- Kumar, M. e.a.** (2007), 'EyePoint: Pointing and Selection Using Gaze and Keyboard', Stanford University, HCI Group
- Layar** (2014), 'Innovative and Interactive Print Solutions', <http://www.layar.com/> (02-07-2014)
- Lee, W.** (2008), '3D Modeling of Virtual Environment from Point Clouds', <http://www.youtube.com/watch?v=BdMrL1NBVZY> (20-08-2014)
- Maimone, A. e.a.** (2013), General-Purpose Telepresence with Head-Worn Optical See-Through Displays and Projector-Based Lightning, *'Virtual Reality (VR), 2013 IEEE'*, p. 23-26
- Meta** (2014), 'Spaceglasses', <http://www.spaceglasses.com/> (06-06-2014)
- Metaio** (2014), 'AREngine', <http://www.metaio.com/arengine/> (06-06-2014)
- Metaio** (2014), 'Metaio Cloud', <http://www.metaio.com/cloud/> (10-06-2014)
- Metaio** (2014), 'Thermal Touch', <http://www.youtube.com/watch?v=t1HmYNqp8NM> (06-06-2014)
- Microsoft** (2014), 'Model-View-Controller', <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ff649643.aspx> (08-08-2014)
- MicroVison** (2014), 'PicoP', <http://www.microvision.com/technology/picop.html> (02-06-2014)
- Mills, M.** (2012), 'Image Recognition that Triggers Augmented Reality', http://www.ted.com/talks/matt_mills_image_recognition_that_triggers_augmented_reality (06-06-2014)
- Mirza, K. e.a.** (2012), 'Key Challenges to Affordable See Through Wearable Displays: The Missing Link for Mobile AR Mass Deployment', <http://optinvent.com/HUD-HMD-benchmark> (02-06-2014)
- Motorola** (2012), 'RFID Case Study', http://www.motorolasolutions.com/web/Business/Products/RFID/RFID%20Readers/FX9500/_Documents/static_files/Drents_Museum_Case_Study.pdf (03-06-2014)
- MyTabletGuru**, (2013), 'Top 5 Fastest Tablet Processors', <http://mytabletguru.com/top-5-fastest-tablet-processors/> (02-06-2014)
- Olbrich, M. e.a.** (2013), 'Augmented Reality Supporting User-Centric Building Information Management', Fraunhofer IGD
- OTIS Nederland** (2014), <http://www.otis.com/site/nl/> (02-07-2014)
- OTIS Nederland** (2014), 'Service & Onderhoud', <http://www.otis.com/site/nl/Pages/Services.aspx?menuId=4> (02-07-2014)
- OTIS Worldwide** (2014), 'Products & Services', <http://www.otisworldwide.com/k8-eService.html> (02-07-2014)
- Park, H. e.a.** (2013), Tangible Interaction, *'Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing'*, 7, 5, p. 827-835
- PRISM** (2013), 'Information for Brainstorming', 26-06-2013, Fluke Confidential
- Rauterberg, M.** (1997), 'The Complete History of HCI', <http://www.idemployee.id.tue.nl/g.w.m.rauterberg/presentations/hci-history/sld096.htm> (27-04-2014)

- Rosenberg, M.** (1993), Virtual Fixtures: Perceptual Tools for Telerobotic Manipulation, *'Virtual Reality Annual International Symposium'*, p.76-82
- SensoMotoric Instruments** (2014), *'Eye Tracking Glasses'*, <http://www.eyetracking-glasses.com/> (02-06-2014)
- Siemens** (2004), *'AT25a'*, http://www.automation.siemens.com/mcms/topics/en/siplus/sidoor/Documents/ba_at25_en.pdf (07-07-2014)
- Sodhi, R. e.a.** (2013), AIREAL: Interactive Tactile Experiences in Free Air, *'ACM SIGGRAPH Emergin Technologies'*
- Sung, D.** (2011), *'The History of Augmented Reality'*, <http://www.pocket-lint.com/news/108888-the-history-of-augmented-reality> (27-04-2014)
- TWNKLS** (2013), *'Europort'*, <http://twinkl.com/2013/11/01/twinkl-at-europort-2013/> (06-06-2014)
- TWNKLS** (2013), *'Otolift Stairlift Configurator'*, <http://twinkl.com/portfolio/stairlift-configurator-for-otolift> (30-04-2014)
- Volkswagen** (2013), *'Marta'*, http://www.metaio.com/fileadmin/upload/documents/pdf/press_release/REL-volkswagen_marta-2013-EN.pdf (20-06-2014)
- VTT Technical Research Centre of Finland** (2008), *'Multimarker Tracking'*, <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/videos/2008/005-multimarker-tracking.html> (10-06-2014)
- VTT Technical Research Centre of Finland** (2014), *'Videos'*, <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/videos/index.html> (06-06-2014)
- Wang, X. e.a.** (2013), Classification and Implications for Future Research, *'Automation in Construction'*, 32, 1-13
- Webel, S. e.a.** (2013), An Augmented Reality Training Platform for Assembly and Maintenance Skills, *'Robotics and Autonomous Systems'*, 61 , p. 398-403
- Wickens, C.D.** (2003), *'Introduction to Human Factors Engineering'*, ISBN 9780131229174
- WiFiSLAM** (2010), *'Indoor GPS'*, <http://angel.co/wifislam> (06-06-2014)
- Wikipedia** (2014), *'Unified Modeling Language'*, http://en.wikipedia.org/wiki/Unified_Modeling_Language (08-08-2014)
- Wikipedia** (2014), *'Dead reckoning'* http://en.wikipedia.org/wiki/Dead_reckoning (06-06-2014)
- Wikipedia** (2014), *'Global Positioning System'*, http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System (06-06-2014)
- Wikipedia** (2014), *'Industry 4.0'*, http://en.wikipedia.org/wiki/Industry_4.0 (02-08-2014)
- Wikipedia** (2014), *'RS-485'*, <http://nl.wikipedia.org/wiki/RS-485> (06-06-2014)
- Wikipedia** (2014), *'Switchable Glass'*, http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_glass (20-08-2014)
- Wikitude** (2014), *'Augmented Reality Creation and Management Tool'*, <http://www.wikitude.com/> (02-07-2014)
- Yang-Mao, S.-F. e.a.** (2013), Evaluation of Mono/Binocular Depth Perception Using Virtual Image Display, *'Human-Computer Interaction'*, p. 483-490