



Geassocieerde Faculteit Toegepaste Ingenieurswetenschappen
Vakgroep Informatica

Internet of Things: Integratie in Drupal

door

Kobe WRIGHT

Stef DE WAELE

Promotoren: dr. ir. J. HOEBEKE, prof. dr. ir. I. MOERMAN, dr. ir. P. SIMOENS

Begeleiders: ing. J. ROSSEY, ir. F. VAN DEN ABEELE

Masterproef voorgedragen tot het behalen van het diploma van
Master in de industriële wetenschappen: informatica

Academiejaar 2012–2013



Geassocieerde Faculteit Toegepaste Ingenieurswetenschappen
Vakgroep Informatica

Internet of Things: Integratie in Drupal

door

Kobe WRIGHT

Stef DE WAELE

Promotoren: dr. ir. J. HOEBEKE, prof. dr. ir. I. MOERMAN, dr. ir. P. SIMOENS

Begeleiders: ing. J. ROSSEY, ir. F. VAN DEN ABEELE

Masterproef voorgedragen tot het behalen van het diploma van
Master in de industriële wetenschappen: informatica

Academiejaar 2012–2013

Voorwoord

Graag bedanken we onze begeleiders Jen Rossey en Floris Van Den Abeele. Zij hebben ons doorheen de masterproef meermaals het licht getoond wanneer we in lastige situaties verzeild raakten. Ook willen we onze interne promotor Pieter Simoens bedanken. We waarderen zijn hulp enorm bij het schrijven van deze scriptie en het opstellen van onze poster. Verder bedanken we onze externe promotoren, Jeroen Hoebeke en Ingrid Moerman. Het zijn zij die ons in de eerste plaats deze masterproef hebben aangeboden.

Deze masterproef werd mogelijk gemaakt door de onderzoeksgroep iMinds. De accommodatie en het gebruik van de apparatuur hebben een positieve invloed gehad op het resultaat. We hopen dan ook dat deze scriptie een uitgangspunt mag zijn voor verdere ontwikkelingen.

Tot slot willen we graag alle andere mensen bedanken die ook rechtstreeks of onrechtstreeks een bijdrage geleverd hebben tot het realiseren van deze masterproef.

Kobe Wright & Stef De Waele, mei 2013

Toelating tot bruikleen

“De auteur geeft de toelating deze scriptie voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de scriptie te kopiëren voor persoonlijk gebruik.

Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze scriptie.”

Kobe Wright & Stef De Waele, mei 2013

Internet of Things: Integratie in Drupal

door

Kobe WRIGHT
Stef DE WAELE

Masterproef voorgedragen tot het behalen van het diploma van
Master in de industriële wetenschappen: informatica

Academiejaar 2012–2013

Promotoren: dr. ir. J. HOEBEKE, prof. dr. ir. I. MOERMAN, dr. ir. P. SIMOENS

Begeleiders: ing. J. ROSSEY, ir. F. VAN DEN ABEELE
Geassocieerde Faculteit Toegepaste Ingenieurswetenschappen
Hogeschool Gent

Vakgroep Informatica

Samenvatting

Het Internet of Things wordt steeds belangrijker. Bij dit concept staat het idee dat verscheidene soorten apparaten rechtstreeks of onrechtstreeks met het internet verbonden worden centraal. Het biedt de mogelijkheid deze apparaten van op afstand te observeren en te besturen op een gemakkelijke en dynamische manier. Deze apparaten zijn in werkelijkheid vaak beperkt in mate van energieverbruik en geheugen. Vaak is het netwerk waarmee ze verbonden zijn eveneens beperkt waardoor beperkte bandbreedte en onbetrouwbare verbindingen niet zeldzaam zijn.

Het doel van deze masterproef bestaat erin een Drupal-module te ontwikkelen die het mogelijk maakt op een gebruiksvriendelijke en dynamische manier sensordata op te vragen en sensoren te configureren. Hierbij moet rekening gehouden worden met de beperkte mogelijkheden van zowel het netwerk als van de aangesloten apparaten. Ook moet de module ruimte laten voor uitbreidingen en moeten de recente mogelijkheden van Drupal 7 benut worden met een oog op de aangeboden functionaliteit van Drupal 8. Enige commentaar in code mag dan ook niet ontbreken.

Om de communicatie tussen de devices over het netwerk te waarborgen is HTTP te zwaar. Daarom wordt er gebruik gemaakt van het minder zware CoAP. In ruil voor de betrouwbaarheid en robuustheid van HTTP biedt CoAP een minimale overhead, een hoge mate van simpliciteit en features die zich niet beperken tot de observe-functionaliteit en blockwise transfer.

Als resultaat bieden we twee Drupal-modules aan. De CoAP library- en de CoAP Resource-module. De CoAP library verzorgt alle communicatie tussen clients en servers op een netwerk door middel van native CoAP. Deze module heeft op zich weinig te bieden aan de doorsnee Drupal-gebruiker en heeft enkel als doel een CoAP API aan te bieden aan Drupal-ontwikkelaars. Deze stand-alone module kan ook gebruikt worden in andere projecten waar een CoAP-implementatie in Drupal vereist is. De CoAP Resource-module maakt gebruik van de CoAP library en biedt de gebruiksvriendelijke interface aan waarmee Drupal-gebruikers sensoren kunnen beheren.

Trefwoorden

Internet of things, Drupal, CoAP, sensornetwerk

Inhoudsopgave

Lijst van gebruikte afkortingen	iv
1 Inleiding	1
1.1 Doel	2
1.2 Verloop masterproef	3
1.3 Structuur scriptie	4
2 Drupal	6
2.1 Wat is Drupal?	6
2.1.1 Basiswebsite	8
2.2 Waarom Drupal?	8
2.3 Werking van Drupal	10
2.3.1 Drupal bouwstenen	10
2.3.2 Pagina aanroepen	14
2.4 jQuery in Drupal	18
2.4.1 Met een formulier	18
2.4.2 Met AJAX in jQuery	19
2.4.3 Problemen	19
3 CoAP	20
3.1 Wat is CoAP?	20
3.1.1 Berichtformaat	21
3.2 Communicatiemogelijkheden	25
3.2.1 Betrouwbaarheid	25
3.2.2 Request/response model	26
3.2.3 Blocks	27

3.3	Extra Features	29
3.3.1	Observe	29
3.3.2	Resource discovery	29
4	CoAP library module	33
4.1	Doel	33
4.1.1	Essentiële, te ondersteunen functies	34
4.1.2	Optionele, handige functies	36
4.2	Implementatie	37
4.2.1	Proceduregericht	37
4.2.2	Objectgericht	37
4.2.3	Hooks voor notificaties	38
4.2.4	Opvangen van verloren berichten	40
5	CoAP resource module	41
5.1	Architectuur	41
5.1.1	Functionaliteit	42
5.1.2	Belangrijke aspecten	44
5.1.3	Content-type in de databank	49
5.1.4	Content-types in Drupal	52
5.2	Implementatie van de CoAP library-hooks	56
5.2.1	hook_receive_notification()	56
5.2.2	hook_receive_error()	56
5.2.3	hook_stop_observers()	57
5.3	Evolutie van de module	57
5.3.1	Temperatuurmodule met HTTP/CoAP-proxy	57
5.3.2	Temperatuurmodule met native CoAP	59
5.3.3	CoAP Resource module met externe CoAP library	60
5.3.4	CoAP Resource module met content type CoAP Resource	62
5.3.5	CoAP resource met volledige REST functionaliteit	62
5.3.6	CoAP Resource module met resource discovery	63
5.3.7	CoAP resource met meerdere content types	65

6	Uitbreidingen	71
6.1	Keuze van interval bij automatisch ophalen	71
6.2	Opvragen devices in subnetwerk met resource directory	71
6.3	Conditional observe	72
6.3.1	Keep-alive	73
6.4	Custom Entity	74
6.5	Interface Description	74
6.6	View Modes	75
6.7	Configuratie op maat	75
6.8	Help	75
6.9	DNS	75
6.10	Block Options	76
6.11	Anonieme gebruikers	77

Lijst van gebruikte afkortingen

ACK	Acknowledgement CoAP message
AJAX	Asynchronous JavaScript and XML
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CMS	Content Management System
CoAP	Constrained Application Protocol
CON	Confirmable CoAP message
CR	Carriage Return
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IoT	Internet of Things
IPv4	Internet Protocol versie 4
IPv6	Internet Protocol versie 6
LF	Line Feed
M2M	Machine-to-machine
NON	Non-Confirmable CoAP message
OSI	Open Systems Interconnection
PHP	PHP Hypertext Preprocessor
RST	Reset CoAP message

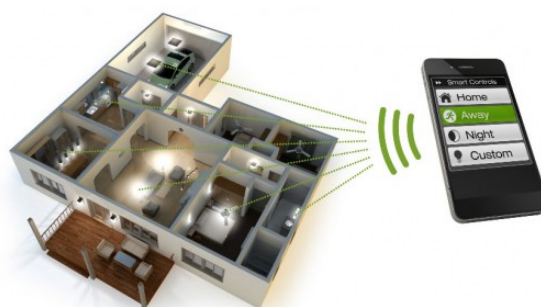
TKL	ToKen Length
TLV	Type Length Value
UDP	User Datagram Protocol
URI	Uniform Resource Identifier
URL	Uniform Resource Locator
WOEID	Where On Earth ID

Hoofdstuk 1

Inleiding

Het internet zoals we het vandaag kennen is niet meer weg te denken en het aantal aangesloten machines blijft groeien. Tot voor kort bestond deze verzameling machines uit computers, routers, etc... en bijna alle data die het huidige internet omvat werd ingevoerd door menselijke tussenkomst. Maar daar komt verandering in, de aangesloten machines evolueren naar objecten of 'dingen', waarbij elk object uniek adresseerbaar is en zelf data kan inbrengen zonder menselijke tussenkomst. Deze objecten kunnen allerlei apparaten voorstellen, van je smartphone tot een wasmachine of zelfs je auto.

De komende jaren zal de omvang van het Internet exploderen omdat steeds meer van deze dagdagelijkse objecten ermee verbonden zullen worden. Het Internet zal evolueren naar een Internet of Things (IoT) en zal ons toelaten om op een eenvoudige manier en van op afstand informatie te verkrijgen over apparaten en hun omgeving (bv. de temperatuur, een deurslot, de status van de wasmachine) en ermee te interageren (bv. sluiten van de deur, aanschakelen van de verwarming). Tot voor kort was het besturen van apparaten in je huis vanop afstand met een smartphone, computer, etc slechts een theorie, maar de realisatie hiervan is nu dichterbij dan ooit.



Figuur 1.1: *Internet of Things*

Is het internet klaar voor het IoT?

Een grote remming op de ontwikkeling van een IoT is het beperkte adresbereik van Internet Protocol versie 4 (IPv4), maar met de invoering van Internet Protocol versie 6 (IPv6) voor de deur, wordt het aantal mogelijke adressen aanzienlijk groter. Alhoewel IPv6 blijkbaar voldoet aan de eisen voor het IoT zal de invoering van IPv6 op grote schaal nog even op zich laten wachten. Daarom zal het IoT voorlopig beperkt blijven tot testomgevingen en netwerken op kleinere schaal.

Een tweede probleem wordt gevormd door het verkeer dat zo'n sensornetwerk veroorzaakt. Huidig gebruikte protocollen zijn niet geoptimaliseerd voor verkeer van en naar een sensornetwerk. Het HyperText Transfer Protocol (HTTP) bijvoorbeeld, biedt een zeer betrouwbare vorm van communicatie, maar om die betrouwbaarheid te realiseren is een aanzienlijke hoeveelheid overhead nodig. Het is deze nood aan een lightweight protocol dat aan de oorzaak ligt van de recente ontwikkeling van het Constrained Application Protocol (CoAP)-protocol. Het spitst zich toe op communicatie met minimale overhead. Als gevolg moet CoAP inboeten aan betrouwbaarheid. Het maakt immers gebruik van het minder betrouwbare User Datagram Protocol (UDP). Daar waar HTTP juist betrouwbaarheid biedt, garandeert UDP niet dat alle pakketten effectief hun bestemming bereiken of dat die in volgorde aankomen.

De conclusie is dat het Internet in het geheel en onder zijn huidige vorm nog niet klaar is voor het IoT, maar dat niets in de weg staat van de ontwikkeling ervan in de zeer nabije toekomst.

1.1 Doel

Omwille van deze evolutie worden er meer en meer embedded devices ontwikkeld voor het IoT. Deze masterproef behandelt voornamelijk de integratie van die embedded devices in bestaande systemen. De focus ligt dan niet zozeer op de ontwikkeling van de embedded devices zelf, maar op het aanspreken en besturen van de embedded devices. Meer specifiek willen we een bijdrage leveren aan de realisatie van webservices voor het IoT. Het vertrekpunt hiervoor zullen de recente CoAP-ontwikkelingen zijn van de iMinds-onderzoeksgroep (C++ CoAP framework, HTTP/CoAP-proxy, CoAP voor sensoren). Als embedded device gebruiken we sensoren aangeboden door iMinds die bereikbaar zijn onder de vorm van een sensornetwerk.

Deze webservice bieden we aan onder de vorm van een Drupal-module waarbij een gebruiker

een device rechtstreeks op locatie kan aanspreken door middel van native CoAP-communicatie zonder dat er een proxy aan te pas komt. Dit is een groot verschil met recente implementaties waarbij er gebruik gemaakt wordt van een HTTP/CoAP-proxy tussen de applicatie en het device. Concreet worden er twee modules ontwikkeld. Een CoAP-library die al het CoAP-verkeer stuurt en afhandelt en een sensormodule waarin de gegevens afkomstig van de devices, verwerkt en weergegeven worden. De modules moeten zo ontwikkeld worden dat ze op een eenvoudige manier te gebruiken zijn, zodat geen kennis van de technische aspecten vereist is.

1.2 Verloop masterproef

Voor de eigenlijke ontwikkeling van de Drupal-module werden verscheidene boeken geraadpleegd [34] [35] [33], waarbij voor de implementatiedetails van CoAP, de CoAP-drafts werden geraadpleegd [7] [8] [27] [30] [26] [28].

In een eerste fase van deze masterproef zal de Drupal-module wel nog gebruik maken van een HTTP/CoAP-proxy. Wanneer deze eerste fase geoptimaliseerd is, wordt de proxy uitgesloten en wordt er enkel nog gebruik gemaakt van CoAP.

Na een uitgebreide literatuurstudie van Drupal en PHP Hypertext Preprocessor (PHP, de gebruikte programmeertaal) werd gepoogd een testmodule te maken. Het resultaat van deze eerste module bestond uit een webservice die dynamisch kon worden toegevoegd aan een Drupal website. Men kon deze webservice aanwenden om aan de hand van een Where On Earth ID (WOEID), het weerbericht op te vragen van een plaats naar keuze.

De volgende stap bestond uit de ontwikkeling van een eerste versie van de uiteindelijk te ontwikkelen module. Deze bood de gebruiker de mogelijkheid om de waarde van één resource op te vragen. Bovendien kon de gebruiker met een checkbox aangeven of de waarde periodiek moest worden opgehaald. De opgehaalde waarden werden getoond in een tabel.

Na uitvoerig bestuderen van de CoAP-drafts en het ontmantelen van CoAP-berichten in Wireshark [32], werd geëxperimenteerd met CoAP-berichten (Wireshark is een network sniffer). Al vlug bleek dat de ontwikkeling van een eigen CoAP-library geschreven in PHP, de beste oplossing was. Aldus werd een aparte module ontwikkeld, een CoAP-library die alle CoAP-communicatie voor zich neemt. Deze module biedt de mogelijkheid tot opstellen, versturen en ontvangen van CoAP-berichten.

Met de CoAP-library voorhanden werd het nu mogelijk de sensormodule aan te passen zodat die enkel nog gebruik maakt van CoAP-communicatie. Door deze laatste ontwikkeling werd ook de observe-methode van CoAP mogelijk, welke later toegelicht wordt in paragraaf 3.3.1.

Naast deze laatste ontwikkelingen die zich eerder toespitsen op de backend, werd ook vooruitgang geboekt aan de frontend. Een content type werd ontwikkeld zodat een gebruiker gemakkelijk een CoAP-resource kan toevoegen aan zijn/haar website, dit content-type wordt voorzien door onze module.

Omdat een gebruiker soms niet weet welke resources allemaal aangesloten zijn op een embedded device, wordt resource discovery voorzien. Dit houdt in dat de gebruiker enkel een IPv6 adres moet opgeven van een embedded device, waarna een lijst zal worden gegenereerd en getoond die alle resources bevat, aangesloten op dat embedded device. Dit wordt gerealiseerd door een tweede content-type, namelijk CoAP-device.

Dit laatste concept kan nog verder worden doorgedreven tot het concept van service discovery. Hierbij krijgt de gebruiker een overzicht van lijsten van resources van elk embedded device in een bepaald subnetwerk. Als alternatief zien wij een resource directory. Deze wordt geïmplementeerd op een specifieke machine waar alle embedded devices hun core op beschikbaar stellen. Een gebruiker kan deze directory aanroepen om toegang te krijgen tot alle well-known/cores. De resource directory werd echter niet gecomplementeerd, maar wordt in deze scriptie wel behandeld als mogelijke uitbreiding (Zie paragraaf 6.2).

Als laatste stap rest ons nog het samenvoegen van de frontend en backend. Als resultaat bekomt men dan een gebruiksvriendelijke module die de gebruiker in staat stelt sensoren te bekijken en te beheren zonder daarvoor enige kennis van onderliggende technologieën nodig te hebben.

1.3 Structuur scriptie

Hoofdstuk twee handelt over Drupal. We geven de voor- en nadelen van Drupal en gaan dieper in op de enkele van de belangrijkste concepten en termen. We bekijken eveneens beknopt de werking van Drupal. Als laatste onderdeel van dit hoofdstuk bespreken we een voorbeeld van een Drupal module waarin, in de latere fasen, jQuery gebruikt wordt.

In hoofdstuk drie gaan we dieper in op de concepten en mogelijkheden van CoAP. We bekijken het berichtformaat van CoAP en geven een vergelijking met HTTP. De voor- en nadelen komen eveneens aan bod. We bespreken de verschillende soorten communicatie en gaan ook

dieper in op de concepten die met resource discovery te maken hebben. Deze concepten staan centraal in het automatiseren van ophalen van sensorgegevens.

In het vierde hoofdstuk bespreken we de ontwikkelde CoAP-library. Het ontwikkelingsproces wordt hier uitvoerig besproken, waarbij struikelpunten worden aangegeven en de gemaakte keuzes worden verantwoord.

In het vijfde hoofdstuk bespreken we de sensormodule. Er wordt grondig ingegaan op de architectuur van de module. Tevens wordt de evolutie van de module behandeld, er zijn namelijk verschillende versies ontwikkeld in de loop van de masterproef.

Het zesde en laatste hoofdstuk handelt over mogelijke uitbreidingen die wij nog graag hadden geïmplementeerd. We sommen deze op en lichtten toe welke implementatie wij voor ogen hadden.

Hoofdstuk 2

Drupal

2.1 Wat is Drupal?

We kunnen Drupal het best beschrijven aan de hand van Figuur 2.2. Drupal is een Content Management System (CMS), een framework voor webapplicaties en een social publishing platform. Maar Drupal is meer dan software alleen. Drupal staat voor een gemeenschap van ontwikkelaars en gebruikers met uiteenlopende doeleinden die elk hun eigen visie willen realiseren. [33]



Figuur 2.1: *Drupallogo*

Content Management System

Drupal levert alle functies en mogelijkheden van een krachtig CMS. We denken meteen aan het kunnen inloggen en registreren van gebruikers, verschillende soorten gebruikers kunnen definiëren, verschillende niveaus van permissies,... Ook denken we aan het creëren, aanpassen, beheren, weergeven, categoriseren en aggregeren van content. Drupal biedt bovendien de mogelijkheid om modulair extra functionaliteit toe te voegen naar eigen noden en wensen.

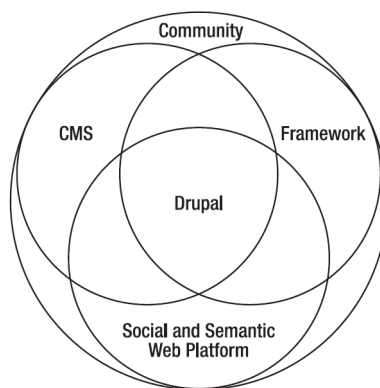
Framework voor webapplicaties

Drupal is enorm flexibel en krachtig waardoor er enorm veel verschillende soorten webapplicaties mee kunnen gebouwd worden. Dit is deels te danken aan de API's die Drupal aanbiedt. Deze worden bij elke versie van Drupal uitgebreid maar ze worden niet complexer om te gebruiken. Drupal's veelzijdigheid wordt nogmaals bewezen met het feit dat het zowel als frontend voor

Java-gebaseerde applicaties kan optreden of als backend voor AJAX of Flash-driven frontends.

Social publishing platform

Dat Drupal een social publishing platform is, houdt in dat content gemakkelijk te delen is via Drupal. Drupal biedt de mogelijkheid complexe data in een structuur te gieten welke gemakkelijk uit te wisselen is. Op deze manier is het gemakkelijk eenzelfde stuk data voor te stellen op verschillende websites.



Figuur 2.2: *Wat is Drupal?*

We kunnen Drupal ook beschrijven als een gratis softwarepakket dat je de mogelijkheid biedt om jouw inhoud gebruiksvriendelijk te beheren en te publiceren. En dit op zo een manier dat je een eindeloze graad van personalisering hebt. Deze inhoud kan bestaan uit allerlei dingen, zoals: een blog, een video, een foto, een artikel, resultaten van een experiment,... Algemeen is dit dus een combinatie van tekst, beelden en audio die bezoekers van je website kunnen zien, lezen en/of horen. Bovendien is Drupal open source.

Drupal is ontwikkeld in PHP en gebruikt ook een noemenswaardige hoeveelheid JavaScript (in de vorm van jQuery) voor de frontend. Voor het opslaan van content en configuratiegegevens gebruikt Drupal een relationele databank. Drupal in zijn huidige versie (7) kan op elk platform draaien onder volgende twee voorwaarden:

- Het platform bevat een webserver die PHP, en dus server-side scripting ondersteunt. Voorbeelden van deze webserver zijn: Apache, IIS, Lighttpd en nginx.
- Het platform ondersteunt een van volgende databanktechnologieën: MySQL, SQLite of PostgreSQL.

Bij deze masterproef wordt er gebruik gemaakt van Apache en MySQL.

2.1.1 Basiswebsite

Wanneer je Drupal installeert beschik je meteen over een basiswebsite. Omdat je meteen al een bruikbare website hebt, is de drempel om Drupal te beginnen gebruiken dus laag. Deze website biedt meteen al een heleboel functionaliteit aan die geleverd wordt door de zogenaamde Drupal Core en een aantal out-of-the-boxfuncties.



Figuur 2.3: *Basiswebsite van Drupal met Bartik-theme*

2.2 Waarom Drupal?

Eerst sommen we de vlakken op waar elke degelijke software goed op moet scoren:

- betrouwbaarheid en robuustheid
- efficiëntie
- flexibiliteit

Als we dit even vergelijken met de principes waarop Drupal gebouwd is:

- Modulair en uitbreidbaar: Drupal kan uitgebreid worden met modules, waarbij je zelf ook modules kan ontwerpen indien er nog geen bestaat die aan jouw noden voldoet. Dit draagt dus bij aan de flexibiliteit.
- Kwaliteitsvolle codering: kwaliteitsvolle, elegante en goed gedocumenteerde code is een prioriteit. Dit draagt bij tot de robuustheid en betrouwbaarheid.

- Standard-based: Drupal maakt gebruik van ingeburgerde standaarden zoals bvb. XHTML en CSS. Dit draagt ook bij tot de robuustheid en betrouwbaarheid.
- Low-resource demanding: om een goede prestatie te garanderen, maakt Drupal gebruik van low-profile codering (bvb. minimaliseren van databasequeries). Dit draagt bij tot de efficiëntie.
- Open source: Drupal is gebouwd op en kan gebruikt worden in andere open source projecten.
- Gebruiksvriendelijk: Drupal moet gemakkelijk te gebruiken zijn, zowel voor gebruikers, ontwikkelaars en administrators van een website.
- Samenwerking: Drupal voorziet systemen om samenwerking te bevorderen, waaronder het versiebeheersysteem GIT.

We zien dat Drupal aan de eerder vermelde voorwaarden voldoet.

Een bijkomend voordeel van Drupal is zijn grote gemeenschap die ondertussen uit al meer dan 630000 actieve gebruikers en ontwerpers bestaat die zich dagelijks inspannen om Drupal steeds beter te maken. Dit aantal neemt elke dag toe. Dankzij die grote gemeenschap krijg je snel antwoord op je vragen door de medewerking van andere Drupal leden.

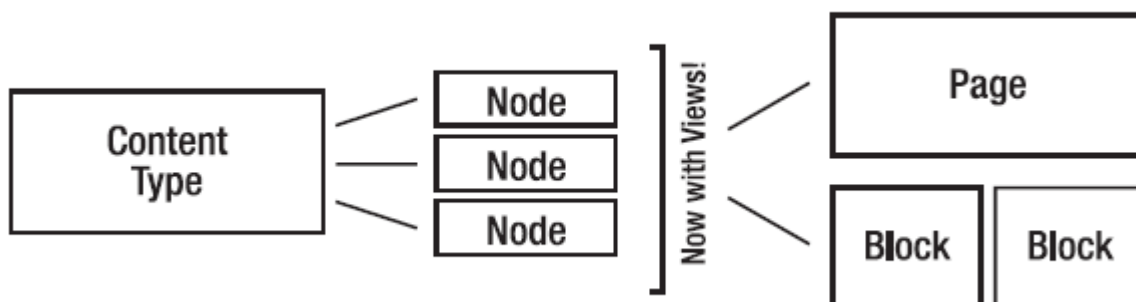
We bespreken nu enkele nadelen van Drupal:

- Aangezien Drupal gebruik maakt van een databank, heb je een databankserver nodig, al dan niet op dezelfde fysieke server als de webserver.
- Bovendien wordt telkens een pagina wordt opgevraagd, de bootstrapcode uitgevoerd, waarbij ook nog eens de databank veelvuldig wordt geraadpleegd. Dit maakt Drupal relatief traag.
- Drupal is zeer gebruiksvriendelijk en ideaal voor de eindgebruikers, die gemakkelijk en interactief inhoud willen toevoegen en beheren. Beginnende Drupal-ontwikkelaars zullen evenwel merken dat Drupal een erg steile leercurve heeft.
- Ook ben je afhankelijk van de Drupal-community en dus de goodwill van de andere leden. Dit is in veel gevallen een voordeel, maar wanneer je een probleem hebt, ben je niet zeker of er wel een oplossing voor bestaat.

- Tenslotte kan iedereen een module maken. Dit heeft natuurlijk zijn voordelen maar wanneer je een module van iemand anders gebruikt, ben je nooit zeker of de module zal onderhouden worden naar de toekomst toe en of er al dan niet bugs in zitten.

2.3 Werking van Drupal

Aan de hand van een voorbeeld [33] proberen we de lezer een idee te geven van de werking van Drupal. Bekijk Drupal als een digitale postzegelsorteerder. De nodes zijn de postzegels en de content types zijn de verschillende soorten postzegels (postzegels van € 0,67, € 1,34, ...). Naast content types, kan je taxonomy gebruiken om een verdere onderverdeling te maken in de postzegels. De mate waarin en de criteria waarop je je onderverdeling maakt, kan je zelf kiezen (land, kleur, ...). Views is het mechanisme dat je postzegels sorteert en weergeeft in de vorm van pagina's en blocks. Van deze pagina's en blocks kan je zelf grootte, vorm, kleur en andere criteria opstellen zodat je deze helemaal kan personaliseren. Zie Figuur 2.4.



Figuur 2.4: Grafische weergave van hoe Drupal content aanbiedt.

2.3.1 Drupal bouwstenen

We gaan dieper in op de begrippen die gebruikt worden in het voorbeeld en lichten enkele extra termen toe die ook gebruikt worden in Drupal.

Content type

Een content type bepaalt het soort content. Het bundelt soorten gegevens tot een logisch geheel. De gegevens worden ingevuld aan de hand van Fields. Een instantie van een content vult de soorten gegevens op en wordt een node genoemd. Ook biedt een content type de mogelijkheid om verschillende soorten content te onderscheiden van elkaar op basis van het type. Drupal

biedt gebruikers de mogelijkheid aan om hun eigen custom content types te maken.

Node

Nodes zijn instanties van een content type. Een node kan maar aan één content type toebehoren. Alle nodes hebben enkele eigenschappen gemeenschappelijk:

- Node id: zorgt voor een unieke identificatie.
- Menu-instellingen: hier kan je een optionele menu link instellen zodanig dat je het menu op je website volledig kan personaliseren.
- Mogelijkheden in verband met revisie: in de levensloop van de content kan je revisies maken zodat je terug kan keren naar een vorig moment indien er iets fout gaat met de content.
- Uniform Resource Locator (URL) pad instellingen: standaard is content beschikbaar via een URL van de vorm `/node/node_id`. Maar via deze instellingen kan je een alias opgeven waarlangs de content ook (en dus gemakkelijker) beschikbaar is, dit principe heet in Drupal "Clean URL's". De URL zal dan van de vorm `'/alias'` zijn.
- Commentaarinstellingen: je kan zelf instellen of gebruikers commentaar kunnen achterlaten bij deze node.
- Auteurinstellingen: hier stel je in of de creatietijd en auteur getoond moeten worden bij deze node.
- Publicatieinstellingen: soms is het mogelijk dat je deze content nog niet beschikbaar wil stellen op de website, of je wil ze tijdelijk offline halen. Via deze instellingen is dit mogelijk.

Fields

Via Fields kan je gegevens voor een content type invullen. Standaard biedt Drupal een aantal velden aan om gegevens toe te voegen, maar soms schieten deze velden tekort. Daarom heeft een gebruiker de mogelijkheid custom velden te maken.

View

Views worden gebruikt om content visueel voor te stellen op welke manier dan ook. Een view is dan ook niet meer dan een visuele representatie van een verzameling content die in de databank

zit.

Block

Blocks zijn, zoals de naam al impliceert, blokken die een verzameling van herbruikbare content bevatten. Ze geven het beeld van die content. Blocks kunnen op gemakkelijke wijze toegevoegd worden aan je website waar jij dat wilt en hoe vaak je dat wilt. Het is bijvoorbeeld gemakkelijk om aan te geven dat je een bepaald block enkel op een bepaalde pagina wil laten verschijnen, en bovendien waar op de pagina je dat wilt. Merk echter wel op dat het hier niet echt content betreft, de inhoud van het block wordt aangemaakt bij opvraging en is dus geen blok beheerbare content. We zien een voorbeeld van een block in paragraaf 2.4.

Theme

Themes zijn templates die bepalen hoe jouw website eruit ziet en aanvoelt voor de gebruiker. Net zoals modules zijn themes modulair en zijn ze dus gemakkelijk te wisselen, ook themes kunnen zelf ontwikkeld worden en zijn ter beschikking op de Drupal community.

Module

Modules bieden je de mogelijkheid om extra functionaliteit in te pluggen op je website. Modules zijn gratis te downloaden van de Drupal community en omdat deze community groot is, is de kans zeer groot dat er al een module gemaakt is voor jouw probleem. Indien dit niet het geval is, heb je nog altijd de mogelijkheid om zelf een module te ontwikkelen. Het gebruik van modules voorkomt ook dat functionaliteit die je niet nodig hebt, ook niet op jouw website komt. Je website is dus zeer configureerbaar naar eigen wensen (Zie figuur 2.5).

Taxonomy

Taxonomy geeft je de mogelijkheid om eigenschappen en categorieën toe te voegen aan je content, zodat bijvoorbeeld een gebruiker content kan filteren uit een grote verzameling. Het biedt dus een manier om je content te organiseren. Een praktijkvoorbeeld is een receptensite, een gebruiker kan dan recepten filteren aan de hand van de eigenschappen van het gerecht (ingrediënten, moeilijkheid, ...).

➤ Install new module

CORE				
ENABLED	NAME	VERSION	DESCRIPTION	OPERATIONS
<input type="checkbox"/>	Aggregator	7.21	Aggregates syndicated content (RSS, RDF, and Atom feeds).	
<input checked="" type="checkbox"/>	Block	7.21	Controls the visual building blocks a page is constructed with. Blocks are boxes of content rendered into an area, or region, of a web page. Required by: Dashboard (enabled)	Help Permissions Configure
<input type="checkbox"/>	Blog	7.21	Enables multi-user blogs.	
<input type="checkbox"/>	Book	7.21	Allows users to create and organize related content in an outline.	
<input checked="" type="checkbox"/>	Color	7.21	Allows administrators to change the color scheme of compatible themes. Required by: Stylizer (disabled)	Help
<input checked="" type="checkbox"/>	Comment	7.21	Allows users to comment on and discuss published content. Requires: Text (enabled), Field (enabled), Field SQL storage (enabled) Required by: Forum (disabled), Tracker (disabled)	Help Permissions Configure
<input type="checkbox"/>	Contact	7.21	Enables the use of both personal and site-wide contact forms.	
<input type="checkbox"/>	Content translation	7.21	Allows content to be translated into different languages. Requires: Locale (disabled)	
<input checked="" type="checkbox"/>	Contextual links	7.21	Provides contextual links to perform actions related to elements on a page.	Help Permissions

Figuur 2.5: *Organisatie van Drupalmodules*

Users, Roles en Permissions

Users zijn de gebruikers van jouw website die zich aangemeld hebben. Alle user functionaliteit zoals registreren, inloggen, enz... zit reeds in de Drupal core. Roles geven weer tot welk type een gebruiker hoort. Meerdere gebruikers kunnen dezelfde role hebben, en een gebruiker kan meerdere roles hebben. Met permissions kan je aangeven welke privileges een user met een bepaalde role heeft en dus wat die gebruiker mag en kan doen. Deze permissions worden gekoppeld aan een role zodat alle gebruikers die deze role hebben automatisch de privileges hebben van deze role. Drupal biedt standaard de Administrator role aan die alle privileges heeft.

Hooks

Hooks zijn functies die gedefinieerd zijn door de Drupal core. Ze kunnen worden geïmplementeerd door elke module. In de Drupal bootstrap zal de Drupal core dan op bepaalde tijdstippen de bijhorende hooks oproepen van elke module die de hook geïmplementeerd heeft. Hiervoor wordt een zeer eenvoudig mechanisme gehanteerd. Een module kan zo'n hook definiëren door de naam van de hook te laten voorafgaan door de naam van de module die de hook implementeert (zie figuur 2.6).

Drupal Core

De Drupal core is wat je downloadt van de Drupal website. Het vormt de basis en een uitgebreide out-of-the-box functionaliteit, het fungeert eigenlijk als de motor achter een Drupal website. De

```
//Act on a node that is being assembled before rendering.  
function coap_resource_node_view($node, $view_mode, $langcode) {  
  if($node->type == 'coap_resource'){  
    $node->content['coap_resource_form'] = drupal_get_form('coap_resource_form', $node);  
  }  
  return $node;  
}
```

Figuur 2.6: Implementatie van *hook_node_view* door de module *coap_resource*

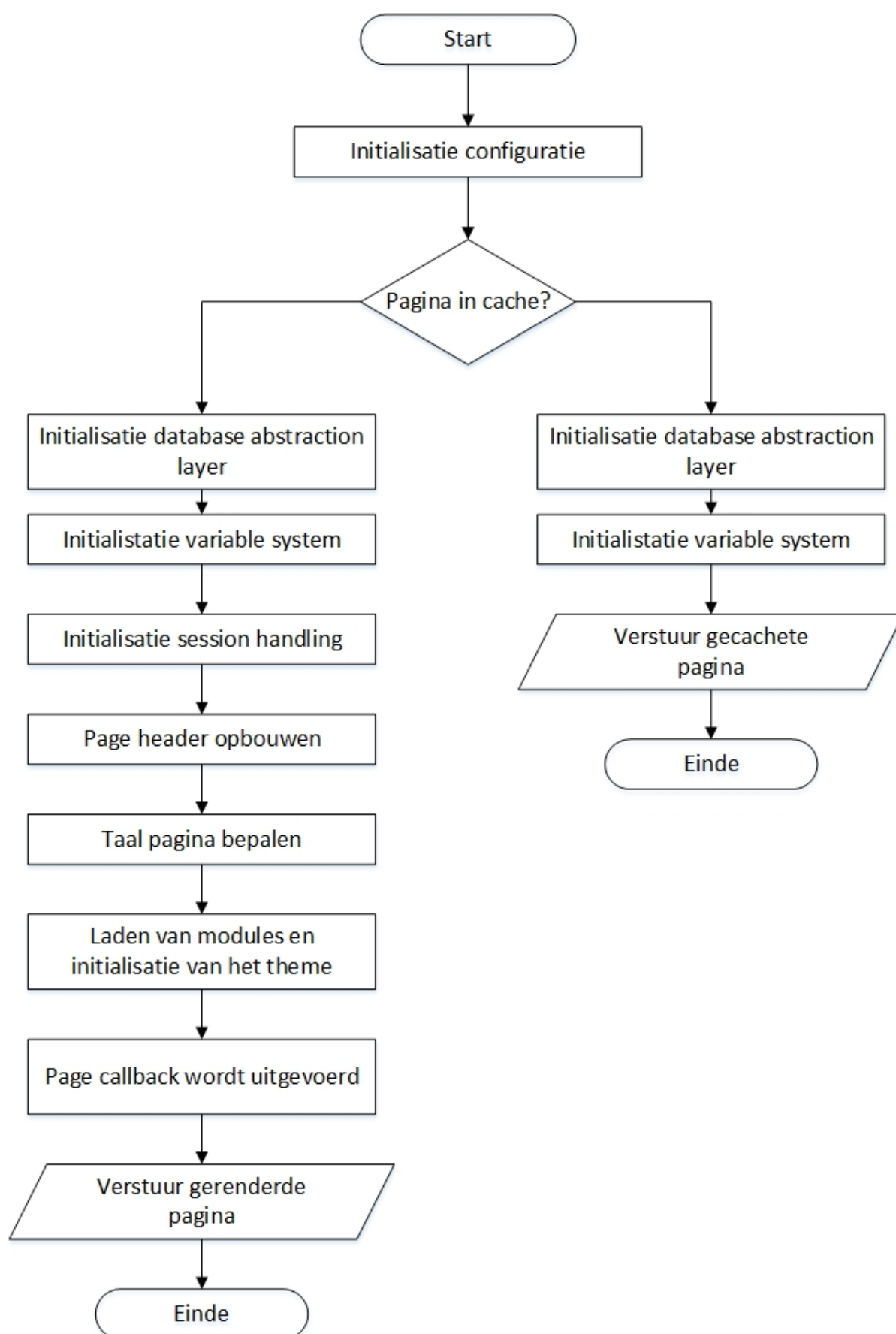
Drupal Core is zeer uitgebreid en complex, het vormt op zich al voldoende materiaal voor een scriptie, er verder op ingaan zou ons dus te ver leiden.

Entities

Een nieuw belangrijk concept in Drupal 7 is entities [11]. Dit nieuwe concept in combinatie met de Entity API heeft twee positieve effecten. Het eerste effect is dat gebruikers en commentaren dezelfde mogelijkheden krijgen als nodes. In vorige versies van Drupal was het niet mogelijk versies te creëren of velden toe te voegen aan gebruikers of commentaren. Andere voordelen zoals het gebruiken van views in combinatie met gebruikers of commentaren was ook niet mogelijk. Het andere effect is het invoeren van object-geëïntende programmeren van entities. Vroeger was het nodig specifieke functies van de core te gebruiken om content te bewerken. Een voorbeeld hier van is `node_save()` dat nodes opslaat. Deze functie was enkel toepasbaar op een node. Het alternatief bij de Entity API is `entity_save()`. Deze functie is niet gelimiteerd tot enkel content of enkel tot gebruikers. Het is ook mogelijk nieuwe entities te maken, we gaan hier dieper op in in hoofdstuk 6.

2.3.2 Pagina aanroepen

Elke keer een webbrowser een Drupal pagina opvraagt, gebeurt er een reeks complexe stappen die als eindresultaat de gerenderde pagina hebben. Indien de pagina niet aanwezig is in de cache, worden deze complexe stappen gegroepeerd in twee delen: de bootstrap en de uitvoering van de page callback. De bootstrap bestaat steeds uit dezelfde reeks van acht verschillende fasen die we verder nader toelichten. Na de bootstrap wordt de page callback uitgevoerd. Indien de pagina wel in de cache aanwezig is, wordt er een subset van de stappen van de bootstrap uitgevoerd. Het hele proces wordt weergegeven in Figuur 2.7.



Figuur 2.7: Pagina renderen in Drupal

Initialisatie van de configuratie

Deze fase houdt onder andere in dat globale variabelen worden gezet, zoals de basis URL van de website. Deze configuratie gebeurt aan de hand van een configuratiebestand en aan de omgeving waarin de server zich bevindt.

Poging tot opvragen van een gecachte pagina

In deze fase tracht Drupal te vermijden dat de volledige bootstrap moet worden doorlopen. Wanneer de pagina al eens is opgevraagd en deze nog geldig is, wordt deze pagina getoond.

Initialisatie van de database abstraction layer

Basisklassen en functies worden geïnitieerd, maar er worden nog geen verbindingen met de databank opgezet.

Initialisatie van het Variable System

In deze fase worden de waarden van variabelen uit de variabelentabel gehaald, die zich in de databank bevindt, en ingevuld bij de juiste naam. Als er modules zijn waarvan hooks moeten worden opgeroepen, worden deze ook ingeladen.

Initialisatie Session Handling

In deze fase wordt aan elke user een sessie gekoppeld. Een anonieme user krijgt geen sessie toegewezen tenzij er iets in de sessie moet worden opgeslagen.

Page Header opbouwen

De eerste HTTP headers worden opgebouwd, deze worden echter nog niet verstuurd, dit gebeurt pas op het einde van de cyclus. In deze fase vormt zich de eerste mogelijkheid voor modules om functionaliteit in te pluggen in de cyclus van de pagina.

De taal van de pagina bepalen

Als de website meerdere talen ondersteunt wordt in deze fase de gekozen taal van de gebruiker bepaald.

Laden van modules en initialisatie van het theme

Alle ingeschakelde modules worden ingeladen en het theme wordt geïnitieerd. Deze fase biedt ook nog de mogelijkheid om variabelen in te stellen die pas later in de request beschikbaar zijn.

Uitvoeren van page callback

Drupal bouwt en rendert de pagina.

2.4 jQuery in Drupal

In deze paragraaf bekijken we hoe een module (`weather_info`) gemaakt werd die het weerbericht ophaalt voor een regio naar keuze, aangegeven door een WOEID. In eerste instantie werd gewerkt met een formulier, maar in een latere fase werd overgestapt op jQuery, wat de gebruikerservaring bevordert.

2.4.1 Met een formulier

In eerste instantie bevatte de module een formulier bestaande uit een textbox als invoer voor de WOEID en een knop om het formulier in te dienen. Wanneer de gebruiker op de knop klikt, gebeuren volgende stappen:

- het formulier wordt ingediend
- de pagina wordt opnieuw geladen
- de bootstrapcode roept de hook `hook_form_submit()` op door `weather_location_form_submit()` op te roepen (`weather_location` is de naam van het formulier):
 - het ingegeven WOEID wordt opgeslagen op serverniveau met de Drupal-functie `variable_set()`
- de bootstrapcode roept de hook `hook_block_view` op van de weermodule door `weather_info_block_view()` op te roepen:
 - het ingegeven WOEID wordt opgehaald met behulp van de Drupal-functie `variable_get()`
 - er wordt een HTTP-request uitgevoerd naar de Yahoo Weather API met de PHP-functie `file_get_contents()`, dat een URL als parameter verwacht.
 - het ontvangen xml-bestand wordt in een object gestopt met de PHP-functie `SimpleXMLElement()`, waarna het weerbericht gemakkelijk uit het XML-bestand kan gehaald worden
 - Het weerbericht wordt toegevoegd aan de inhoud van het block



Figuur 2.8: *Weermodule*

- De pagina wordt in de browser weergegeven met het weerbericht in het block

2.4.2 Met AJAX in jQuery

Een pagina zal pas getoond worden wanneer de bootstrap afgelopen is en aangezien de code in de hooks die worden uitgevoerd onderdeel is van de bootstrap, zal de pagina pas getoond worden wanneer de hooks afgelopen zijn. Dit heeft als gevolg dat de gebruiker van de website langer moet wachten op de pagina omdat eerst nog een HTTP-request moet gebeuren om het weerbericht op te halen. Het spreekt voor zich dat dit een zeer nadelig effect is dat moet vermeden worden.

Als alternatief hebben we gekozen om een jQuery-event te koppelen aan de submit-knop die het formulier indient. jQuery is namelijk geschreven in JavaScript en JavaScript is een client-side scripting language, wat inhoudt dat deze code wordt uitgevoerd op de machine van de gebruiker en dit nadat de pagina geladen is.

Wanneer de gebruiker op de knop klikt, wordt een Asynchronous JavaScript and XML(AJAX)-call uitgevoerd. Zoals de naam suggereert, is dit een asynchrone aanroep, wanneer het antwoord aankomt wordt automatisch een opgegeven functie opgeroepen waarin de data kan verwerkt worden. Als gevolg heeft de gebruiker dus geen enkele hinder van het internetverkeer dat noodzakelijk is om het weerbericht op te halen.

2.4.3 Problemen

jQuery laat geen cross-domain AJAX calls toe wegens veiligheidsoverwegingen. Een oplossing hiervoor is een proxy-script in PHP gebruiken. De AJAX call gebeurt dan naar het proxy script dat zich op de server en dus hetzelfde domein bevindt. Het proxy-script vraagt daar effectief de data op en geeft de uitvoer terug. De browser wordt dus eigenlijk om de tuin geleid. [25]

Hoofdstuk 3

CoAP

3.1 Wat is CoAP?

CoAP is een web transfer protocol speciaal ontwikkeld voor netwerkcomponenten die beperkt zijn in zowel geheugen als energieverbruik, als in machine-to-machine (M2M)communicatie. Met M2M-communicatie bedoelen we communicatie tussen machines waar geen menselijke tussenkomst nodig is. Zoals de berichten die routers naar mekaar sturen om hun routingtabel te synchroniseren. Naast het minimaliseren van overhead concentreert CoAP zich ook op het automatiseren van taken. Het mechanisme van resource discovery (Zie paragraaf 3.3.2) is hier een voorbeeld van. Met het verminderen van energieverbruik in het achterhoofd biedt CoAP naast synchrone ook asynchrone communicatie aan. Het biedt ook nieuwe soorten berichten aan zoals non-confirmable, piggy-backed, etc. Deze worden toegelicht in paragraaf 3.2.1

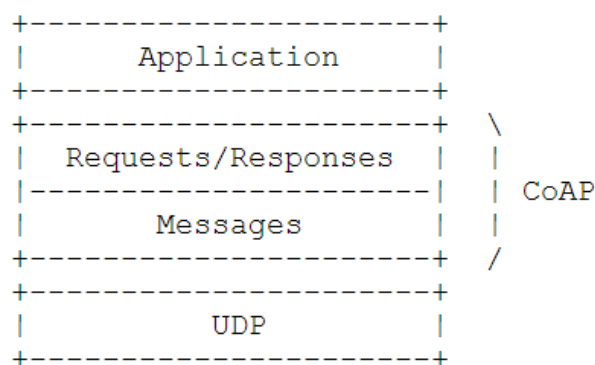
Het interactiemodel van CoAP is vergelijkbaar met het client/server model van HTTP. Hoewel, bij een CoAP-implementatie voor M2M interacties kan een device bij de ene berichtuitwisseling client zijn, en bij de andere server. Een CoAP-request is equivalent aan een HTTP-request en wordt ook gestuurd van de client naar de server om een actie aan te vragen op een resource die zich op die server bevindt. De actie wordt bepaald door een method code (GET, PUT, POST of DELETE) en de resource wordt aangeduid met een Uniform Resource Identifier (URI). De server antwoordt met een response die onder andere een response code bevat.

Verschillend met HTTP, gebeurt de berichtenuitwisseling asynchroon over een datagramgeöriënteerd transport. Dit houdt in dat berichten mogelijks verloren gaan of in een andere

volgorde kunnen aankomen dan dat ze verzonden zijn. Toch voorziet CoAP enige vorm van betrouwbaarheid met een soort bericht dat kan worden bevestigd door een acknowledgement (zie paragraaf 3.2.1). Wanneer zo'n bericht niet wordt bevestigd, wordt het bericht meermaals opnieuw gestuurd volgens het exponential back-off mechanisme (Zie paragraaf 4.2.4).

CoAP definieert vier soorten berichten: Confirmable, Non-confirmable, Acknowledgement en Reset. Door gebruik te maken van method codes en response codes transporteren sommige van deze berichten requests of responses. In paragraaf 3.2 gaan we hier dieper op in.

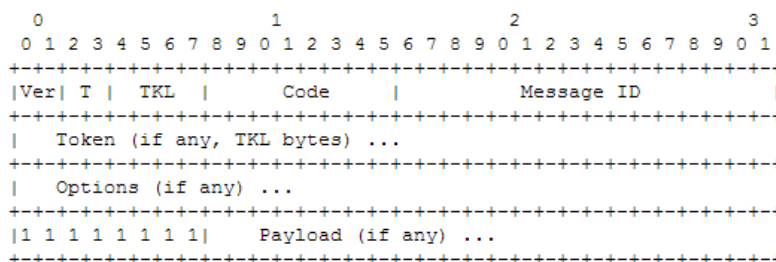
We kunnen CoAP ook in het Open Systems Interconnection (OSI) -model met 7 lagen plaatsen. Logisch gezien hebben we een CoAP-berichtenlaag die het UDP gedeelte en de asynchroniteit van de berichten afhandelt en een request-responselaag die gebruik maakt van method en response codes (zie Figuur 3.1). Nochtans bestaat CoAP in werkelijkheid slechts uit één laag waarbij berichten-uitwisseling en het request-responsemechanisme enkel en alleen door manipulatie van de header verwezenlijkt wordt.



Figuur 3.1: CoAP-lagen (CoAP 16 draft)

3.1.1 Berichtformaat

Om een minimale overhead te realiseren worden de berichten zeer compact gehouden. We geven een kort overzicht van de onderdelen van het berichtformaat (zie Figuur 3.2) en



Figuur 3.2: Berichtformaat (CoAP 16 draft)

bespreken dan de belangrijke delen apart in subparagrafen. De eerste vier bytes stellen de header voor. Bemerkt dus dat de header gerealiseerd wordt met slechts 4 bytes. Het veld na de header is optioneel en bevat een token waarvan de lengte aangegeven is in de header. Vervolgens zitten er nul of meer opties in het bericht. Het laatste onderdeel van een bericht is de payload. Indien

er een payload aanwezig is in het bericht, wordt die altijd voorafgegaan door een vaste byte, de payload marker (0xFF). Deze geeft het einde van de opties en het begin van de payload aan. Indien er geen payload is mag deze marker niet aanwezig zijn.

We merken hier op dat een token, opties en een payload optioneel zijn. Dit zorgt ervoor dat sommige berichten beperkt blijven tot de header van 4 bytes, wat zeer weinig is.

Header

Deze vier bytes worden opgedeeld in drie delen:

- Versiegetal (Ver): een 2-bit unsigned integer die de CoAP-versie aangeeft.
- Type-aanduiding (T): een 2-bit unsigned integer die het berichttype aangeeft. De mogelijkheden zijn: Confirmable (CON) (0), Non-confirmable (NON) (1), Acknowledgement (ACK) (2) of Reset (RST) (3).
- Tokenlengte (TKL): een 4-bit unsigned integer die de variabele tokenlengte aangeeft.
- Code: 8-bit unsigned integer die aangeeft of het bericht een request of een response overbrengt, of leeg is.
- Message ID: een 16-bit unsigned integer die gebruikt wordt om duplicatie van berichten op te merken. Het wordt ook gebruikt om berichten van het type ACK/RST te linken aan berichten van het type CON/NON.

Token

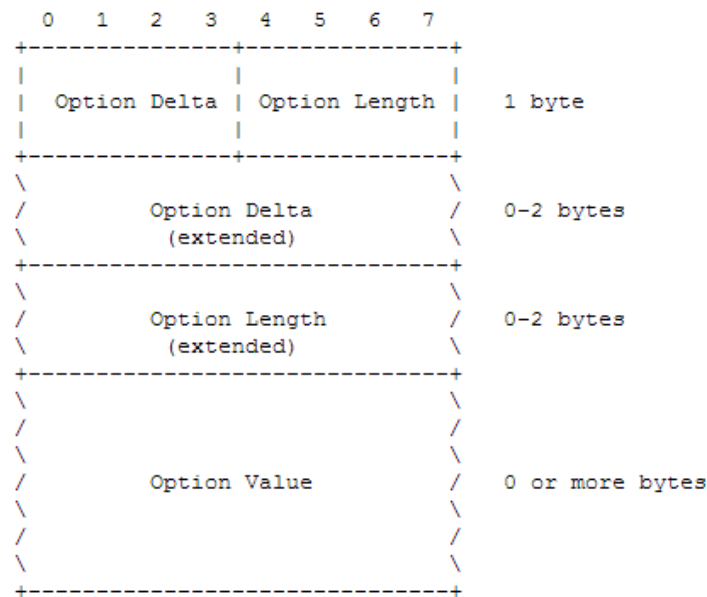
Een token wordt gebruikt om een response te linken aan een request. De lengte wordt bepaald door de TKL en is nul tot acht bytes lang. Elk bericht heeft een token, dit kan lengte nul hebben. Wanneer een token nodig is, moet dat worden gegenereerd door de client. Indien de server wil dat zijn response geaccepteerd wordt, moet hij dit token zonder meer overnemen in zijn response.

Opties

Opties worden opgesteld door middel van de Type-Length-Value (TLV) notatie (zie Figuur 3.3). Er wordt een mechanisme toegepast om opties in een pakket te stoppen, dat ervoor zorgt dat het pakket compact blijft en dus bijdraagt tot een minimale overhead.

Elke optie heeft een uniek nummer, maar wanneer meerdere opties in één pakket worden gestopt, worden de opties niet door dat nummer aangeduid, maar door de Option Delta. De Option Delta is het verschil tussen het nummer van een optie en dat van de vorige optie. Concreet, stel dat men na een optie met nummer 6 een optie met nummer 11 wil plaatsen, dan wordt deze laatste aangeduid met Option Delta gelijk aan 5 ($11 - 6$). Dit alles samen maakt dat een minimale (lege, maar daarom niet nutteloze) optie slechts 1 byte in beslag neemt. Dit heeft als gevolg dat opties na elkaar moeten worden geplaatst met oplopende Option Numbers.

Er zijn gevallen dat dit systeem tekort schiet. Daarom zijn er speciale waarden ingevoerd die het gebruik van een extended Option Delta aangeven. Indien de Option Delta groter is dan 12, maar kleiner is dan 269, wordt als Option Delta waarde 13 gebruikt. Er wordt dan een extra byte voor de Option Value gezet dat opgevuld wordt met de echte Option Delta - 13. Indien de Option delta meer is dan 268, wordt als Option Delta de waarde 14 gebruikt. Deze waarde geeft aan dat er twee extra bytes gebruikt worden. Deze bytes worden opgevuld met de echte Option Delta - 269. De waarde 15 mag niet als Option Delta gebruikt worden want deze geeft het begin van de payload aan. Voor Option Length zijn de regels analoog.



Figuur 3.3: *CoAP-optie (CoAP draft 16)*

Verschil met HTTP

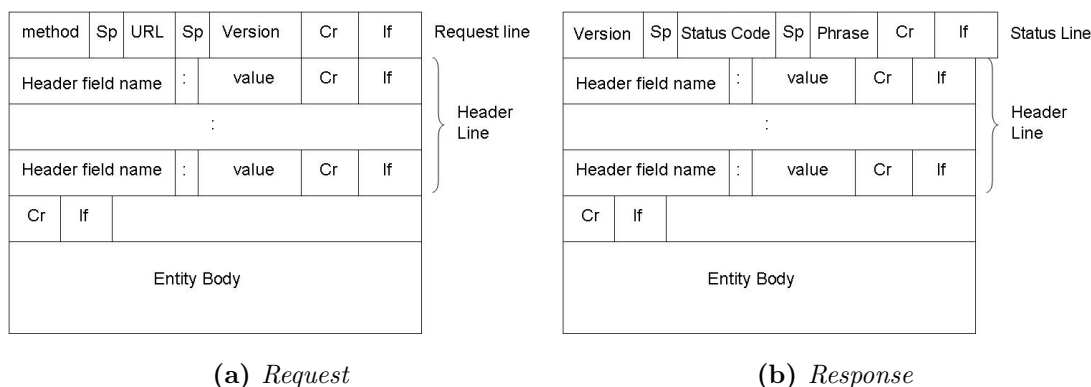
Als we dit kort vergelijken met het berichtformaat van HTTP (zie Figuur 3.4) zien we dat er aanzienlijke verschillen zijn. Bij HTTP zijn request en response niet helemaal gelijk. We kijken eerst naar de HTTP-request die opgedeeld is in drie delen:

- Een requestlijn die op zijn beurt opgedeeld is in drie delen gescheiden door een spatie:
 - de methodenaam (GET, POST, HEAD, PUT of DELETE voor HTTP 1.1)
 - de URL van de gevraagde resource
 - het versienummer
- Een aantal headerlijnen die bijkomende opties voorstellen.
- De entity body wordt gebruikt door de POST-methode om gegevens door te sturen en wordt gescheiden van de headerlijnen door een lege lijn.

Bijkomend wordt elke lijn (ook de lege) afgesloten met een carriage return (CR) en een line feed (LF).

De HTTP-response is analoog aan de request met als verschillen dat de eerste lijn opgebouwd is uit het versienummer, de statuscode die aangeeft wat het resultaat van de request inhoudt en een korte beschrijving van de status code.

Het is dus duidelijk dat een HTTP-bericht aanzienlijk groter zal zijn dan een CoAP-bericht.



Figuur 3.4: HTTP Message Format

3.2 Communicatiemogelijkheden

In deze paragraaf bespreken we de communicatiemogelijkheden van CoAP. We bekijken de variabele betrouwbaarheid van CoAP-berichten en gaan na hoe het request-responsemodel bij CoAP werkt aan de hand van voorbeelden. Als laatste lichten we het principe van blockwise transfer even toe.

3.2.1 Betrouwbaarheid

HTTP realiseert een betrouwbare en robuuste vorm van communicatie. Het is gebaseerd op het Transmission Control Protocol (TCP), dit protocol zet een verbinding op aan de hand van stream sockets. Het zorgt ervoor dat pakketten gegarandeerd aankomen bij de bestemming en dit in volgorde van verzending. Maar deze betrouwbaarheid komt met een prijs, namelijk extra netwerkbelasting voor het opzetten en beheren van die verbinding. In tegenstelling tot HTTP dat gebouwd is op TCP, is CoAP gebaseerd op berichtenuitwisseling over UDP. Wanneer men met dit protocol werkt, is er echter geen garantie dat pakketten aankomen en wanneer dat wel het geval is, kan de volgorde van aankomst gewijzigd zijn ten opzichte van verzending. Daarom moet men bij CoAP zelf de betrouwbaarheid verzorgen indien nodig.

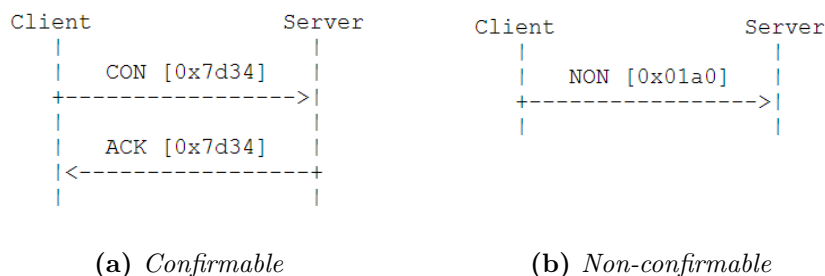
Confirmable berichten

Wanneer we de betrouwbaarheid van de berichtenuitwisseling willen opdrijven, merken we de berichten als CON. Een CON-bericht moet door de server worden beantwoord met een ACK-bericht (zie Figuur 3.5), dit ACK-bericht moet hetzelfde message ID bevatten als het CON-bericht waarop geantwoord wordt. Wanneer CON-berichten niet worden beantwoord met een

ACK-bericht vóór een bepaalde timeout, wordt het bericht opnieuw verzonden. Bij het opnieuw verzenden wordt een exponential back-off mechanisme toegepast. Eerst wordt een timeout bepaald tussen een `ACK_TIMEOUT` en `ACK_TIMEOUT x ACK_RANDOM_FACTOR`, wanneer die timeout verstrijkt wordt het CON-bericht opnieuw verzonden en de timeout verdubbeld. Wanneer de server niet in staat is het CON-bericht te verwerken, wat betekent dat die zelfs geen geldige error response kan geven, antwoordt die met een RST-bericht in plaats van met een ACK-bericht.

Non-confirmable berichten

Soms heeft een bericht geen betrouwbaar transport nodig. Een voorbeeld hiervan is een stroom van sensordata waarbij elke meting verstuurd wordt met een NON-bericht. Dit soort berichten wordt niet bevestigd met een ACK bericht, maar de berichten hebben wel nog steeds een message id om duplicatie van berichten te detecteren (zie Figuur 3.5). Wanneer een ontvanger niet in staat is het bericht te verwerken, opnieuw bedoelen we daarmee dat het geen geldige error response kan geven, zendt die een RST-bericht naar de zender.

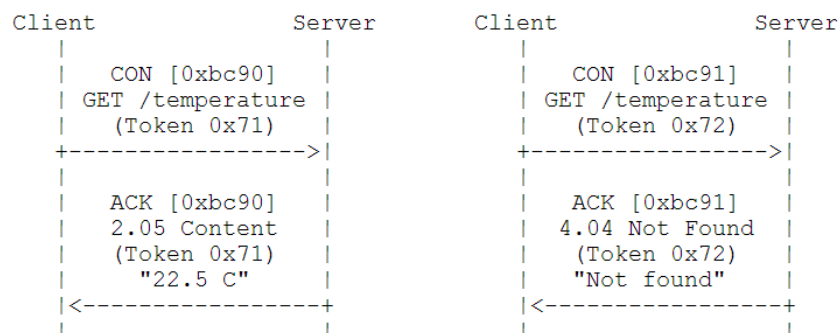


Figuur 3.5: Berichtuitwisseling (CoAP 16 draft)

3.2.2 Request/response model

Piggy-backed response

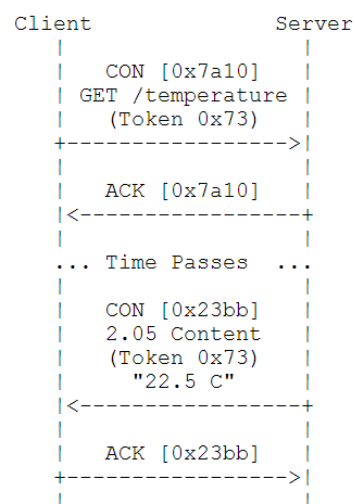
Wanneer een request met een CON-bericht verstuurd wordt, is het mogelijk dat het antwoord meteen beschikbaar is bij de server. Indien dit het geval is, wordt het antwoord op de request meteen meegestuurd met het ACK-bericht. Dit wordt een piggy-backed response genoemd. In Figuur 3.6 worden twee voorbeelden van GET-requests met piggy-backed responses getoond. De ene is succesvol, de andere geeft een error response terug.



Figuur 3.6: *Twee GET-requests met piggy-backed responses (CoAP 16 draft)*

Separate response

Wanneer de server niet onmiddellijk kan antwoorden op de request van de client, antwoordt die met een leeg ACK-bericht zodat de client niet zou beginnen heruitzenden als gevolg van het exponential back-off mechanisme. Wanneer de response klaar is, stuurt de server dit antwoord in een nieuw CON-bericht dat op zijn beurt beantwoord moet worden door de client. Dit soort van berichtenuitwisseling heet separate response (zie Figuur 3.7).



Figuur 3.7: *GET-request met separate response (CoAP 16 draft)*

3.2.3 Blocks

CoAP werkt goed als de berichten geen of kleine payloads bezitten. Dit mag je veronderstellen als je werkt met temperatuursensors of lichtschakelaars. Maar soms is het nodig dat applicaties berichten sturen met grotere payloads, zoals bij resource discovery dat we in 3.3.2 bespreken of bij resources die nu eenmaal veel gegevens als antwoord op een request hebben.

Bij HTTP doet TCP al het werk om de pakketten te fragmenteren en ervoor te zorgen dat de deelpakketten in de juiste volgorde verwerkt worden. Dit is niet mogelijk bij CoAP aangezien UDP als transportprotocol gebruikt wordt. Bij UDP zijn er ook verschillende niveau's van fragmentatie mogelijk. Gebruik van deze niveau's moet vermeden worden om de fragmentatie af te handelen op applicatieniveau. Op deze manier worden meerdere blokken informatie van een enkele resource uitgewisseld via meerdere request-responseparen. Belangrijk op te merken

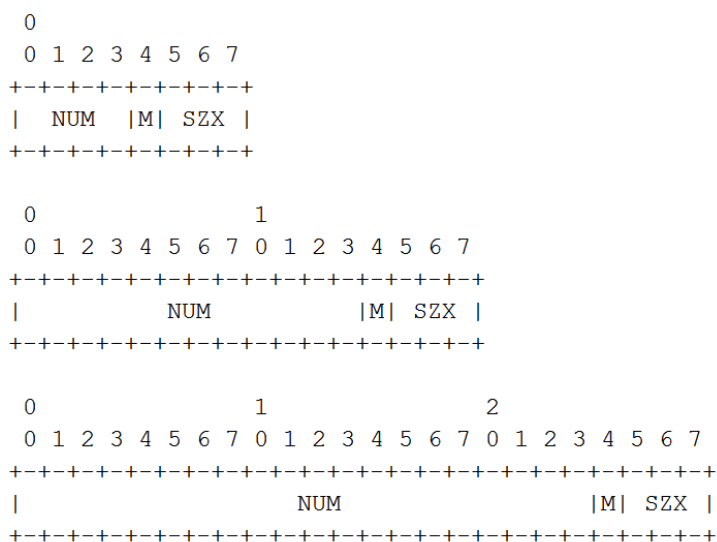
hierbij is dat elk request-responsepaar afzonderlijk af te handelen is door client en server. Dit heeft als gevolg dat er geen connectie opgezet moet worden en dat de server geen geheugen moet vrijmaken om bij te houden welk blok hij moet versturen. Welke de niveau's zijn en waarom er voor de Block Options gekozen is wordt uitvoerig besproken in de draft 'Blockwise transfers in CoAP' [26].

Block Options

Om grote payloads op een goede manier te ondersteunen worden twee Block Options ingevoerd. Optie 23 heeft als naam Block2 en geeft informatie over de request payload. Optie 27 heeft als naam Block1 en geeft informatie over de response payload. Beide opties geven een blockwise transfer aan en kunnen zowel in een request als in een response voorkomen. Ze ondersteunen blokgroottes die een macht van twee zijn, beginnend bij 16 t.e.m. 1024 bytes.

Structuur

Bij beide opties hebben de optiewaarden dezelfde structuur. De lengte van de waarde is variabel en kan 1, 2 of 3 bytes lang zijn zoals te zien in figuur 3.8.



Figuur 3.8: Blokoptiewaarde - bytes en bits worden aangegeven bovenaan de figuur

Wat we nog uit figuur 3.8 halen is dat het telkens drie elementen bevat:

1. NUM (Block Number): Het relatief nummer van het blok binnen een sequentie van blokken.
2. M (More Flag): Is dit het laatste blok in een reeks?

3. SZX (Size Exponent): Geeft de grootte van het blok.

De blok grootte is geëncodeerd gebruik makend van een drie-bit unsigned integer. 0 komt overeen met 2^4 en 6 komt overeen met 2^{10} . Concreet wordt de grootte van het blok gegeven door 2^{SZX+4} . 7 mag niet gebruikt worden als waarde omdat deze gereserveerd is.

3.3 Extra Features

3.3.1 Observe

Wanneer een resource observable is of anders gezegd, de observe functionaliteit ondersteunt, kan die resource op eigen initiatief data sturen naar eventueel geïnteresseerde clients. Een client kan zijn interesse uiten door een CON-bericht te sturen naar de server dat een lege Observe Option (optie 6) bevat. Wanneer de client dan een ACK-bericht terug krijgt met een observe option, weet die dat de server de client heeft toegevoegd aan de lijst van observers. Een client kan aangeven aan de server dat die niet meer geïnteresseerd is door een RST-bericht te sturen naar de server. De server verwijdert de client dan uit de lijst van geïnteresseerden.

3.3.2 Resource discovery

Resource discovery zorgt ervoor dat lokale client en servers elkaar kunnen vinden en met elkaar kunnen interageren zonder menselijk tussenkomst.

Principe

Resources kunnen maar aangesloten zijn op één device. Dit device maakt een extra resource aan met als naam 'well-known/core'. Deze extra resource bevat een opsomming van alle resources verbonden met dit device en een aantal gegevens over deze resources onder de vorm van attributen. Sommige well-known/core's bevatten ook verwijzingen naar resources op andere devices. Gebruikers kunnen een GET-request sturen om de well-known/core op te halen en hebben dan deze informatie tot hun beschikking. De well-known/core bevat echter veel informatie die niet in een enkel request-responsepaar uitgewisseld kan worden. Daarom wordt er gebruik gemaakt van blocks welke uitgelegd worden in 3.2.3. De manier waarop deze informatie doorgegeven wordt, is door gebruik te maken van het CoRE Link Format [30].

CoRE Link Format

Er worden geen resources opgeslaan in de well-known/core maar links naar resources. Als formaat van de links moet het CoRE Link Format gebruikt worden. Een resource wordt uniek geïdentificeerd met een URI die tussen kleiner-dan (<) en een groter-dan (>) teken staat. Na de URI worden alle attributen opgesomd gescheiden door een puntkomma (;). De attributen zelf hebben de vorm van een name-valuepaar. Sommige attributen kunnen meerdere waarden hebben, deze waarden worden dan gescheiden door een spatie. Tot slot worden verschillende links gescheiden met een komma (,).

Als voorbeeld geven we het antwoord op een GET-request van een well-known/core:

```
</temp>;rt="temperature-c";if="sensor",  
</light>;rt="light-lux";if="sensor"
```

We zien dat het device met deze core twee resources aanbiedt. De eerste resource wordt geïdentificeerd met de URI /temp, de andere met /light. Beide resources hebben twee attributen maar er zijn meer attributen mogelijk. We sommen enkele algemene attributen op:

- obs (Observable): Geef aan of de resource observable is. Indien de optie ontbreekt wordt aangenomen dat de resource niet observable is.
- rt (Resource Type): Geeft het type van de resource. De waarden zijn afhankelijk van de gebruikte applicatie. Ze hebben als nut dat binnen een applicatie, resources van hetzelfde type herkent kunnen worden. Dan is het mogelijk via query filtering, alle resources van een type opgehaald worden. Meerdere values zijn mogelijk.
- ct (Content Type): Bevat een opsomming van de content formats die ondersteund worden door deze resource. Meerdere values zijn mogelijk.
- if (Interface Description): Bevat een beschrijving van welke methoden deze resource ondersteunt. Meerdere values zijn mogelijk.
- sz (Maximum Size Estimate): Geeft aan hoe groot het maximum aantal gegevens ongeveer is als antwoord op een GET-request. Voor grote resources zou dit geïmplementeerd moeten worden maar het is geen verplichting.
- title: Bevat een omschrijving van deze resource.

- **anchor:** Wordt gebruikt om de link te laten verwijzen naar een willekeurige resource. Dit kan een resource binnen de eigen core zijn of erbuiten. Het `rel`-attribuut wordt vaak samen met deze optie gebruikt om de relatie aan te duiden tussen de link en de resource. Implementaties die het vermogen niet hebben deze optie te verwerken moeten de hele link te negeren.
- **rel:** Geeft de relatie tussen de link en de resource.

Al deze attributen mogen maar één keer voorkomen. In het geval er meerdere waarden mogelijk zijn worden deze gescheiden door een spatie en ingevuld als één value. De lijst met alle attributen vind je in de CoRE Link Format draft [30]. Niet alle attributen staan beschreven in de CoRE Link Format draft. De ontbrekende beschrijvingen vind je in de Web Linking draft [29].

Core ophalen

Om een well-known/core op te halen, moet je twee maal de Uri-Path Option (optie 11) toevoegen aan een GET-request die gericht is naar het IP-adres van het device waar de core zich op bevindt. De eerste keer met als value 'well-known' en de tweede keer gebruik je 'core' als value.

We bespreken de eerste berichtenparen bij een resource discovery door de hexadecimale waarde te bekijken. Verschillende onderdelen binnen het bericht scheiden we met een streep.

De client stuurt een eerste discovery-request:

```
40 01 78 a5 | bb 2e 77 65 6c 6c 2d 6b 6e 6f 77 6e | 04 63 6f 72 65
```

Het eerste deel bevat dezelfde elementen als elke GET-request. Het tweede deel bevat de eerste optie met als eerste twee bytes 'bb'. Dit komt overeen met optie 11 met lengte 11. De 11 volgende byte-paren zijn de hexadecimale waarden van de karakters 'well-known'. Het laatste deel bevat ook een optie. Deze keer zijn de twee eerste bytes '04'. De Option Delta is 0, dus hebben we opnieuw optie 11. De lengte is deze keer 4. De volgende byte-paren komen overeen met 'core'.

Het antwoord van de server:

```
60 45 78 a5 | c1 28 | b1 0c | 52 06 92 | ff ...
```

Het eerste deel is analoog aan andere responseberichten. We merken wel op dat de Message ID dezelfde is als de Message ID in de request van de client. De eerste twee bytes van het tweede deel zijn 'c1'. Wat optie 12 (Content-Format) met lengte 1 impliceert. De waarde van

deze optie is 28. Omgezet naar decimaal is dit 40, wat application/link-format aangeeft. Het volgende deel begint met 'b1'. Dit komt overeen met optie 23 (Block2) met lengte 1. De hexadecimale waarde is '0c' wat overeenkomt met 12 of binair 00001100. Als we dit herschikken zien we de elementen die in 3.8 te zien zijn: 0000 1 110. We zien dat dit het nulde block is van een reeks van blocks met grootte 6 bytes. De vierde laatste byte geeft aan dat er nog pakketten komen. Het voorlaatste deel begint met '52' wat optie 28 aanduidt met lengte 2. Optie 28 wordt besproken in 6.10. Het laatste deel begint met de payload marker waarop de payload volgt.

De client stuurt een nieuwe request om het volgende pakket op te vragen:

40 01 78 a6 | bb 2e 77 65 6c 6c 2d 6b 6e 6f 77 6e | 04 63 6f 72 65 | c1 16

De eerste drie delen zijn analoog aan de eerste request. Het laatste deel dat erbij is gekomen geeft het volgende block aan dat verstuurd moet worden door de server. De eerste twee bytes zijn 'c1'. Option Delta is 12 dus de optie is $11 + 12 = 23$ (Block2). De lengte is 1 byte-paar. 16 binair is 0001 0 110. Het eerste block in de reeks van blocks met lengte 6 bytes wordt opgevraagd.

De server zal met het aangevraagde block antwoorden. Dit proces blijft zich herhalen tot de server een response stuurt waar de M-bit op 0 staat.

Query Filtering

Het is mogelijk een specifieke discovery uit te voeren indien er enkel informatie over n resource moet gekend zijn of enkel de resources waarbij een bepaald attribuut een specifieke waarde heeft. Dit heeft als voordeel dat het netwerk niet overbodig belast moet worden als dat niet nodig is. De query-filter wordt voorgesteld door een name-valuepaar. Deze wordt toegevoegd door de Uri-Query Option (optie 15) te gebruiken.

Hoofdstuk 4

CoAP library module

In hoofdstuk 3 bekeken we beknopt hoe het CoAP protocol in mekaar zit en wat er allemaal mogelijk is. In dit hoofdstuk bekijken we hoe een eigen CoAP library in PHP werd ontwikkeld als Drupal module. De module stelt een Drupal gebruiker in staat CoAP berichten op te stellen, te versturen en te ontvangen. Let wel, deze module heeft niet als doel om visueel iets voor te stellen op een website. Ze is slechts functioneel en bijvoorbeeld te gebruiken in een andere module die dan de berichten kan omvormen tot een visuele representatie. Dit laatste is wat wij doen in de uiteindelijk te ontwerpen module welke wordt toegelicht in hoofdstuk 5.

4.1 Doel

Wanneer we trachtten CoAP berichten op te stellen, te versturen en ontvangen in onze module, werd al snel het nut duidelijk van een aparte module die zou fungeren als CoAP library. Er ontstaat namelijk erg veel duplicatie van code, bovendien wordt de code onoverzichtelijk en slordig. Nog een zeer nadelig gevolg is dat de code niet hergebruikt kan worden in een andere module. Men zou al de code moeten doorspitten om net dat stuk te vinden waar CoAP gesproken wordt. Bovendien is het niet zeker dat die code zal voldoen aan de waarschijnlijk andere eisen van de nieuwe gebruiker. Wanneer de code niet fungeert in de nieuwe situatie, zal er veel tijd gespendeerd worden aan debuggen en zal de frustratie oplopen bij de gebruiker. Kortom, het is duidelijk dat dit een zeer slechte praktijk is die ten alle kosten moet vermeden worden, het druist in tegen enkele van de belangrijkste programmeerprincipes.

Met het nut bewezen bekijken we even wat een gebruiker van deze library moet kunnen

verwachten. Ze moet de gebruiker in staat stellen dynamisch berichten op te stellen, volledig naar eigen wens. Dit wil zeggen dat de verzameling operaties om een bericht op te stellen, alle mogelijke berichten moet kunnen genereren. Dit heeft als gevolg dat elke elementaire operatie moet kunnen worden uitgevoerd op een bericht. Opstellen van bijvoorbeeld een bepaald bericht aan de hand van slechts één functie is niet prioritair en dus bijkomstig. Het is uiterst belangrijk bij het ontwerp van deze library dat de gebruiker zich niet meer moet bekommeren technische details zoals hexadecimale code die nodig is in een bericht. Alle technische details zitten verborgen in de CoAP library module. We besluiten dat de library een gebruiker in staat moet stellen dynamisch en gebruiksvriendelijk berichten op te stellen, en dit met een minimum aan code.

4.1.1 Essentiële, te ondersteunen functies

We sommen enkele van de eerder vermelde elementaire functies op, deze opsomming is allesbehalve limitatief:

- Opstellen van de header en token waarbij de gebruiker het type, de methode en het token opgeeft. De token lengte wordt afgeleid uit het token. Wanneer geen token gewenst is, kan de gebruiker een lege string meegeven.
- Een optie toevoegen aan het bericht waarbij de gebruiker slechts het optienummer en de waarde van de optie moet meegeven. De gebruiker hoeft zich hierbij geen zorgen te maken over het mechanisme waarbij de Option Delta gebruikt wordt, of over de lengte van de waarde, noch over de volgorde van de opties. Evenmin moet de gebruiker rekening houden met het feit dat wanneer de Option Delta of lengte van de waarde groter is dan 12, een mechanisme met extra bytes wordt gebruikt.
- De payload toevoegen aan het bericht waarbij de gebruiker slechts de payload hoeft op te geven. Dit houdt in dit geval in dat de payload marker wordt toegevoegd en dat de lengte van de payload wordt afgeleid uit de payload zelf.
- Een bericht versturen, hierbij onderscheiden we 2 mogelijkheden:
 - Het sturen van een bericht zonder observe optie: Hierbij hoeft men enkel rekening te houden met één antwoord. Men kan dus het antwoord teruggeven als return waarde van de functie die het bericht stuurt. Men hoeft zich niet te bekommeren om meerdere antwoorden die op willekeurige tijdstippen kunnen aankomen. Wel is het

nodig rekening te houden met resources die grote antwoorden eventueel bloksgewijs opsturen. Hierbij moet de client zelf initiatief nemen om de volgende blokken iteratief op te halen. De server geeft hierbij bij elk blok aan welk blok als volgende moet worden opgehaald (Zie paragraaf 3.2.3). Ook kan het gebeuren dat een server niet onmiddellijk kan antwoorden, deze stuurt dan een lege ACK terug om de client ervan te vergewissen dat de aanvraag ontvangen is. De server zal dan later, wanneer de waarde beschikbaar is, antwoorden met een afzonderlijk antwoord (Zie paragraaf 3.2.2).

- Het sturen van een bericht met observe optie: Het antwoord dat hierop terug gestuurd wordt, bevat slechts één waarde en is slechts een bevestiging dat de server de client heeft toegevoegd aan de lijst van geïnteresseerden. De server zal nu op willekeurige tijdstippen een antwoord sturen op eigen initiatief. Er moet dus een mechanisme voorzien worden dat het aankomen van die berichten opvangt. We zullen later in dit hoofdstuk zien (Zie paragraaf 4.2.3) hoe we deze probleemstelling in de library hebben opgevangen.

Hierbij wordt de gebruiksvriendelijkheid doorgetrokken, de gebruiker staat namelijk niet in voor de controle van de aanwezigheid van een observe optie. Dit wordt automatisch gedetecteerd door de CoAP library.

- Operaties om een bericht te ontmantelen, hieronder verstaan we het parsen van onder andere de payload, een optie op basis van optienummer, het message ID, het token, ...

Merk op dat bij het genereren van CoAP berichten ook een message ID nodig is. Ook hierop is de CoAP library voorzien, er wordt bijgehouden welke message ID's al gebruikt zijn door telkens het laatst gebruikte message ID te incrementeren. Dit is een mechanisme dat aangeraden wordt in de CoAP draft [7].

Een soortgelijk principe wordt toegepast wanneer een token moet worden gegenereerd. De gebruiker moet dan wel een lengte aangeven.

Ook wanneer een ACK of RST moet worden gegenereerd wordt, door aan te geven op welk bericht het antwoord moet worden gestuurd, automatisch het message ID uit het oorspronkelijk bericht geparsed en in het antwoord geplaatst. Hetzelfde principe geldt wanneer een token moet worden overgenomen.

4.1.2 Optionele, handige functies

Sommige berichten zijn vaker nodig dan andere. Om de gebruiksvriendelijkheid van de library te verhogen en de drempel om ze te gebruiken te verlagen, is het een goed idee enkele functies te voorzien om bepaalde volledige berichten op te stellen. Belangrijk hierbij is dat deze opgestelde berichten nog steeds aanpasbaar moeten zijn. Dit zorgt ervoor een gebruiker bijvoorbeeld al een basisbericht kan opstellen en het daarna nog naar eigen wens kan aanpassen, wat de gebruiker veel tijd en code bespaart. We geven enkele voorbeelden die ook geïmplementeerd zijn in de library, deze opsomming is alweer niet limitatief:

- Opstellen van een basis GET request: hierbij krijgt de gebruiker meteen de kans om een URI-path optie toe te voegen aan het bericht. De gebruiker hoeft hier enkel het desbetreffende URI-path toe te voegen. De optie wordt automatisch toegevoegd door de library op basis van de invoer. Wanneer de gebruiker geen URI-path meegeeft, wordt er ook geen optie toegevoegd aan het bericht.
- Opstellen van een basis GET request met observe optie: deze operatie is zeer vergelijkbaar met de vorige, het enige verschil is dat er een lege observe optie wordt toegevoegd. Dit zorgt ervoor dat de server waarnaar het bericht wordt verstuurd, de client zal toevoegen aan de lijst met geïnteresseerden indien de server observable is. Om de goede programmeerprincipes te volgen wordt in deze operatie gebruik gemaakt van de vorige operatie. Dit om duplicatie van code te vermijden.
- Automatisch genereren van een ACK op basis van een opgegeven bericht: de gebruiker hoeft enkel het bericht mee te geven waarop de ACK moet worden opgesteld. Het message ID wordt automatisch overgenomen uit het oorspronkelijk bericht. Naast het feit dat de gebruiksvriendelijkheid verhoogd wordt, heeft deze operatie nog een niet te verwaarlozen nut. De kans op fouten wordt namelijk veel kleiner omdat de ACK automatisch gegenereerd wordt, menselijke fouten zijn dus zo goed als uitgesloten als deze operatie op punt staat.
- Automatisch genereren van een RST op basis van een opgegeven bericht: deze operatie is volledig analoog aan de vorige met dat verschil dat het type van dit bericht RST is in plaats van ACK.

4.2 Implementatie

In deze paragraaf wordt besproken hoe de library effectief geïmplementeerd werd. De volgorde van de subparagrafen is tevens chronologisch.

4.2.1 Proceduregericht

De eerste versie van de CoAP library werd proceduregericht geprogrammeerd. Dit houdt in dat geen staten of objecten bijgehouden worden. Bijgevolg moet de gebruiker zelf het bericht bijhouden onder een vorm die hij/zij zelf kiest. Deze versie van de CoAP library verwachtte echter het bericht onder de vorm van een hexadecimale string. Alle benodigde operaties die eerder vermeld werden, werden geïmplementeerd. Alhoewel deze eerste versie al zeker een stap in de goede richting was, zijn er toch wel enkele nadelen die de kop opsteken. Zoals eerder al vermeld, is de gebruiker verplicht zelf de hexadecimale string bij te houden die het bericht voorstelt. Niet elke gebruiker is bekend met het gebruik van hexadecimale strings. Een tweede nadeel heeft te maken met bescherming van het bericht. Wanneer de gebruiker de hexadecimale string bijhoudt, kan die worden aangepast naar believen. Het bericht kan zo vervormd en mogelijks nutteloos worden. Bovendien kan de gebruiker zonder het te beseffen het bericht door één of andere operatie omvormen tot een normale string met American Standard Code for Information Interchange (ASCII)-karakters. Dit heeft mogelijk als gevolg dat de library het bericht zal omvormen tot een verkeerde hexadecimale string. Kortom, er is nog ruimte voor verbetering en een objectgerichte implementatie lijkt voor de hand liggend.

4.2.2 Objectgericht

In de vorige subparagraaf zagen we de nadelen van een proceduregerichte oplossing. Het zijn net deze punten waar een objectgerichte oplossing goed op scoort. De tweede versie van de CoAP library maakt gebruik van twee klassen welke besproken worden in de volgende subparagrafen.

CoAPFactory klasse

Zoals de naam al suggereert, wordt deze klasse gebruikt voor generatie van CoAP berichten. De gebruiker maakt eerst een instantie aan van de CoAPFactory klasse. Dit object kan dan gebruikt worden om CoAP berichten aan te maken. Het is deze klasse die de eerder besproken handige functies (zie 4.1.2) implementeert om bepaalde berichten aan te maken, samen met de operatie die de header en token opstelt. Alle operaties die een berichtobject aanmaken geven een

object terug van de klasse `CoAPMessage`, deze klasse wordt hierna besproken. De constructor van deze factory klasse ontvangt volgende parameters:

- **Modulenaam:** deze parameter bevat de naam van de module die gebruik maakt van de CoAP library, de reden voor deze parameter wordt hierna uitgelegd in paragraaf 4.2.3.
- **IPv6-adres:** deze parameter bevat een geldig IPv6-adres, dit is het IPv6-adres van het embedded device waarop de beoogde resource is aangesloten.
- **URI-path:** deze parameter bevat een URI-path van een resource op het embedded device dat aangegeven wordt door het IPv6-adres. Deze parameter mag achterwege gelaten worden, het URI-path is dan leeg en duidt het embedded device zelf aan.

Zoals blijkt uit de parameters wordt een factory per gewenste resource aangemaakt.

CoAPMessage klasse

Deze klasse representeert het bericht zelf. Het bevat alle onderdelen van het betreffende bericht in een gemakkelijk te gebruiken vorm. Dit heeft als voordeel dat de gebruiker van de library zich bijvoorbeeld niet hoeft te bekommeren om volgorde van toevoegen bij opties. Wanneer het bericht verzonden moet worden, wordt de hexadecimale string opgesteld om daarna verzonden te worden. De library verzamelt dus eerst alle gegevens en zorgt er zelf voor dat het bericht correct wordt opgesteld. Het is deze klasse die de essentiële operaties (Zie paragraaf 4.1.1) implementeert op het opstellen van de header en token na, zodanig dat het bericht kan worden aangepast naar eigen wensen en noden. Het bericht kan dan gemakkelijk worden verstuurd door een send-operatie op het object uit te voeren. Een IPv6-adres opgeven hoeft niet meer, dit is reeds gebeurd bij constructie van de factory die dit bericht heeft aangemaakt. Aangezien CoAP werkt met UDP, moet er een UDP socket geopend worden. Bovendien moet in het geval de observe functionaliteit gebruikt wordt, de socket onderhouden worden. Daar berichten later kunnen toekomen op initiatief van de server. Dit is ook het geval bij separate response.

4.2.3 Hooks voor notificaties

Eerder werd al aangehaald dat er een speciale voorziening nodig is voor de observe functionaliteit. Hierbij kan de server op eigen initiatief notificaties sturen naar geïnteresseerde clients. Enkele alternatieven werden bedacht en overwogen, het een al beter dan het ander:

- Socket teruggeven: Dit houdt in dat de send-functie die opgeroepen wordt in de CoAP library als return-waarde de socket zou teruggeven. Dit heeft echter als gevolg dat een gebruiker verder zelf de socket moet onderhouden en telkens de nodige berichten moet opbouwen, versturen en ontvangen. Het spreekt voor zich dat dit geen goede oplossing is. De CoAP library wordt zo allesbehalve modulair en een eventuele gebruiker ervan moet al een redelijke hoeveelheid technische kennis hebben om ze te gebruiken.
- Databank: bij dit alternatief zou men de socket toch beheren in de CoAP library zelf en de notificaties opslaan in de databank. Men kan dan bijvoorbeeld een gebruiker van de module een naam van een databanktabel laten opgeven en de notificaties daarin opslaan. Dit is al een betere oplossing, maar deze heeft ook wel wat nadelen. Er is namelijk geen enkele controle mogelijk of de kolommen van de databank wel kloppen en nog belangrijker, of de tabel wel bestaat. Ook is er nu niet echt sprake van abstractie, de gebruiker moet zich aanpassen aan de library. Bovendien moet de gebruiker kennis hebben over het gebruik van een databank, wil hij de library gebruiken.
- Hook mechanisme: Dit is het laatste en door ons gekozen alternatief. De CoAP library definieert hierbij 3 hooks die een gebruiker moet implementeren. Één van de voordelen hiervan is dat de Drupal ontwikkelaar normaal gezien al bekend is met het hook mechanisme van Drupal zelf. Het gebruikte mechanisme is namelijk analoog, de hook wordt geïmplementeerd door het woord hook te vervangen door de naam van de module. Deze moeten geïmplementeerd worden maar ze mogen leeg zijn. We sommen even de te implementeren hooks op:
 - *hook_receive_notification*: Deze hook wordt opgeroepen telkens wanneer een notificatie binnen komt. De CoAP library bouwt een response-object op van de klasse CoAPMessage en geeft deze mee als argument met de hook. Zo kan de gebruiker zelf beslissen wat er met het antwoord moet gebeuren. Men kan zo spreken van een hoge mate van abstractie.
 - *hook_receive_error*: Wanneer een fout gebeurt, bijvoorbeeld een sensor die laat of zelfs niet meer reageert, wordt deze hook opgeroepen. Als argumenten worden de foutboodschap, het IPv6-adres en URI-path van de resource meegegeven. Alweer kan de gebruiker van de library zelf beslissen wat er met deze foutboodschap moet gebeuren.

- *hook_stop_observers*: Wanneer een observe op een resource stopt, om welke reden dan ook, wordt deze hook opgeroepen. Dit biedt een gebruiker van de library de kans om de consistentie van de eigen module te behouden en fouten te vermijden. Men kan bijvoorbeeld melden op een eventueel gemaakt website dat de observe gestopt is. Als parameters worden het IPv6-adres en het URI-path van de resource meegegeven zodat de gebruiker weet over welke resource het gaat.

We merken verder nog op dat de CoAP library zelf instaat voor het bijhouden van de te observeren resources. Bovendien wordt om de resource zo weinig mogelijk te belasten, slechts één observe uitgevoerd op de resource, ongeacht hoeveel gebruikers erin geïnteresseerd zijn. Een observe wordt pas gestopt wanneer geen enkele gebruiker meer geïnteresseerd is in de resource.

4.2.4 Opvangen van verloren berichten

Omdat het CoAP protocol gebruik maakt van UDP kunnen pakketten verloren gaan, dit moet dus opgevangen worden indien CON berichten verstuurd worden. In de CoAP draft [7] wordt exponential backoff voorgeschreven. In de CoAP library werd die geïmplementeerd met de standaardwaarden die eveneens in de CoAP draft [7] staan. Het principe is dat wanneer geen ACK ontvangen wordt als antwoord op het CON bericht, het CON bericht opnieuw verstuurd wordt met daartussen exponentieel stijgende perioden tot een ACK ontvangen wordt of een maximum aantal verzendingen overschreden wordt. Hiervoor moeten 2 dingen worden bijgehouden: een timeout waarde en een retransmission counter die bijhoudt hoeveel keer het CON bericht al opnieuw werd verstuurd. De timeout waarde wordt geïnitieerd op een random waarde tussen `ACK_TIMEOUT` en `ACK_TIMEOUT*ACK_RANDOM_FACTOR`, `ACK_TIMEOUT` en `ACK_RANDOM_FACTOR` zijn constanten. De retransmission counter wordt initieel ingesteld op 0. Wanneer de timeout overschreden wordt en de retransmission counter nog steeds een waarde bevat die kleiner is dan `MAX_RETRANSMIT` (nog een constante), wordt het CON bericht opnieuw verzonden en de timeout waarde verdubbeld. De constanten werden in de CoAP library ingevuld met volgende waarden die voorgeschreven worden in de CoAP draft [7]:

- `ACK_TIMEOUT`: 2 seconden
- `ACK_RANDOM_FACTOR`: 1,5
- `MAX_RETRANSMIT`: 4

Hoofdstuk 5

CoAP resource module

Nu we genoeg kennis hebben over Drupal en CoAP en een CoAP library ter beschikking hebben, kunnen we overgaan tot de uiteindelijk te ontwikkelen module. Het is deze module die een eindgebruiker zal installeren. Ze biedt dan de mogelijkheid om op een gebruiksvriendelijke en dynamische manier sensoren te bekijken en beheren van op de Drupal-website, en dit zonder technische kennis nodig te hebben van CoAP of programmatie in Drupal. We bekijken eerst globaal wat de module concreet moet aanbieden. Daarna bekijken we hoe de module zal opgebouwd worden. Eens we dit weten, kunnen we overgaan tot de verschillende versies van de ontwikkelde module en de implementatie ervan.

5.1 Architectuur

In deze paragraaf bespreken we de architectuur van de module en hoe die inpast in het Drupal systeem. We behandelen tevens ook enkele belangrijke aspecten die in rekening werden gebracht. Vervolgens lichten we enkele belangrijke onderdelen van de module toe.

De architectuur wordt weergegeven in figuur 5.1. De acties aangeduid met een gekleurd bolletje gebeuren altijd bij een request, de acties aangeduid met een leeg bolletje zullen pas gebeuren wanneer geen geldige waarde uit de databank kan worden gehaald (Zie paragraaf 5.1.2).

We overlopen de opeenvolgende stappen bij een request aan de hand van figuur 5.1:

1. De client start een periodieke poll naar de webserver waarop Drupal draait. Deze poll gebeurt onder vorm van een AJAX call.
2. De CoAP Resource module voert een query uit op de databank om een geldige waarde op te vragen indien die aanwezig is.

3. De databank stuurt een resultaten-set terug die een geldige waarde bevat, of leeg is indien er geen geldige waarde meer is.
4. In deze stap zijn er twee mogelijkheden:
 - Indien er een geldige waarde aanwezig is in de databank, wordt deze teruggestuurd naar de client als antwoord op de AJAX call. De request eindigt dan hier.
 - Indien er geen geldige waarde aanwezig is in de databank, wordt een beroep gedaan op de CoAP library module om een nieuwe waarde op te vragen aan de resource.

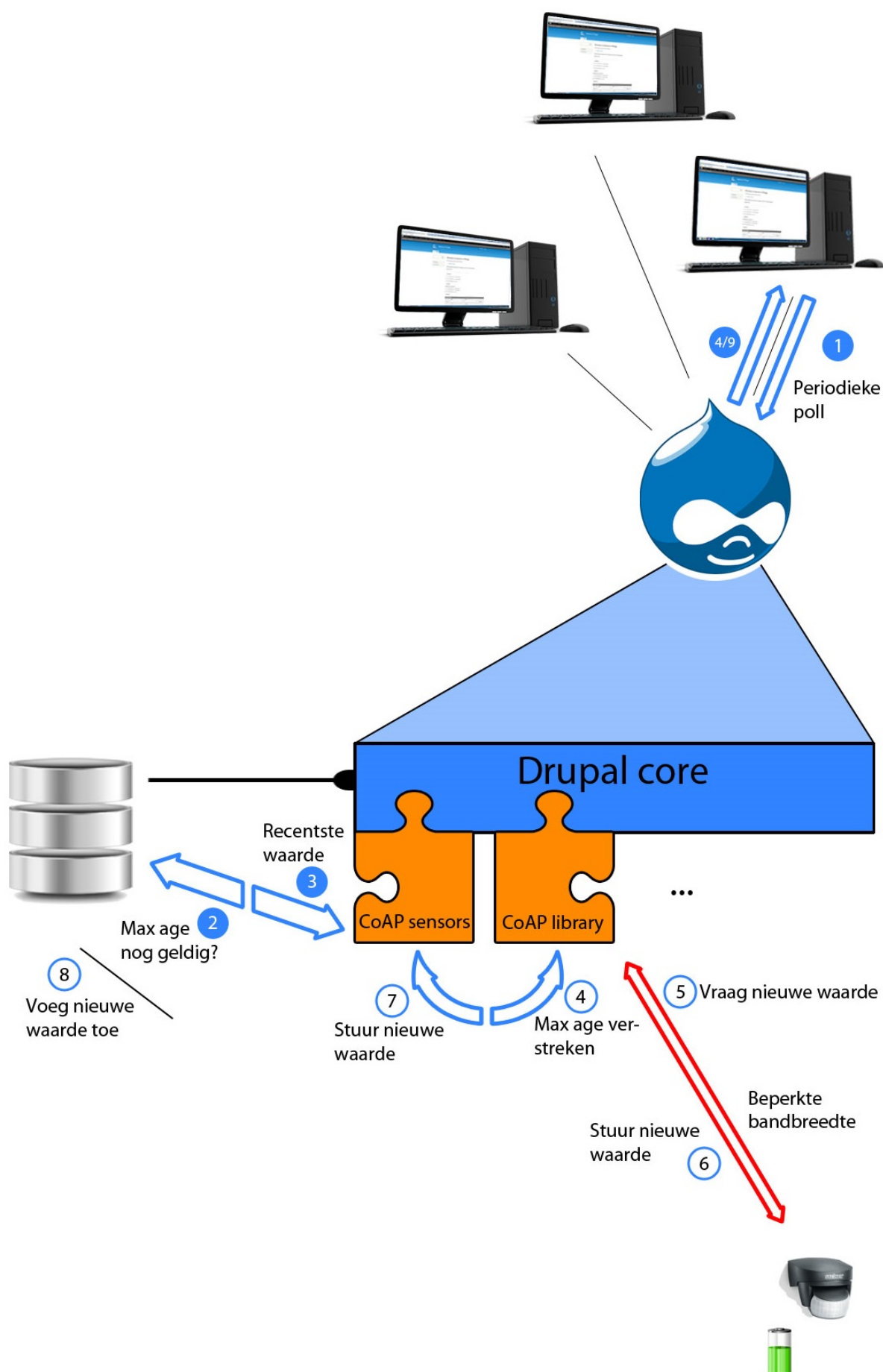
Dit mechanisme zorgt ervoor dat de resource niet onnodig belast wordt (Zie paragraaf 5.1.2).

5. De CoAP library module stuurt een CoAP GET-request naar de resource.
6. De resource stuurt zijn waarde terug in een response bericht als antwoord op de GET-request.
7. De CoAP library roept een hook op die de CoAP Resource module geïmplementeerd heeft, om die ervan op de hoogte te brengen dat er een waarde is binnengekomen.
8. De hook zal ervoor zorgen dat de nieuwe, ontvangen waarde opgeslagen wordt in de databank.
9. Uiteindelijk wordt de waarde ook teruggestuurd naar de client die de request heeft gestart.

5.1.1 Functionaliteit

De bedoeling van deze module is de eindgebruiker in staat te stellen om gemakkelijk sensoren te beheren op zijn/haar website. Belangrijk hierbij is dat elke Drupal gebruiker die een website maakt, deze kan gebruiken zonder extra kennis nodig te hebben over CoAP. Ook is het niet de bedoeling dat de eindgebruiker zelf nog moet programmeren in Drupal om de module te kunnen gebruiken. Kortom, de module moet out-of-the-box werken en zoveel mogelijk omvatten wat mogelijk is met CoAP-sensoren.

Concreet houdt dit onder andere in dat bij installatie van de module enkele content types mee worden geïnstalleerd. Het betreft hier een content type voor een enkele CoAP resource en een content type voor een CoAP device waarop meerdere resources zitten. Ook hier werd weer modulaair gewerkt, de resources worden bij een CoAP device aangegeven onder vorm van het



Figuur 5.1: Architectuur van de CoAP resource module in Drupal

content type CoAP resource. Deze content types zorgen ervoor dat de gebruiker slechts met enkele muisklikken resources en devices kan toevoegen en onmiddellijk kan beginnen met het beheren en bevragen van de resources. Verder worden bij installatie ook alle benodigde databanktabellen gecreëerd.

De configuratie die de gebruiker moet doen zoals bijvoorbeeld het toevoegen van een resource, moet gebruiksvriendelijk verlopen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van resource discovery. In het geval van een CoAP device hoeft de gebruiker enkel het IPv6-adres ervan op te geven. Aan de hand van resource discovery wordt dan een lijst gegenereerd van resources. Wanneer de gebruiker op een resource klikt, krijgt die een visuele representatie van het content type CoAP resource.

Wanneer de gebruiker een enkele resource wil toevoegen, hoeft die enkel de URI van de resource op te geven. Deze bestaat uit een IPv6-adres en een URI-path, gescheiden door een '/'. De module zal aan de hand van een specifieke resource discovery voor deze resource, de overige informatie en parameters van de resource ophalen en opslaan in de databank (Zie paragraaf 3.3.2). De resource wordt bij de discovery gespecificeerd door een Uri-Query optie toe te voegen aan het CoAP pakket met een waarde onder de vorm van 'href=resource-naam'. De parameters bestaan onder andere uit het content format dat de resource teruggeeft (plain text, JSON, XML, ...), of de resource al dan niet observable is, enzovoort...

Eens de gebruiker de gewenste resources heeft toegevoegd aan zijn/haar website, is het de bedoeling dat de 4 REST-methodes GET, PUT, POST, DELETE kunnen uitgevoerd worden, de gebruiker zal ervan op de hoogte gebracht worden wanneer een methode niet ondersteund wordt. Naast deze methodes kan een sensor ook nog observable zijn (zie hoofdstuk 3), de gebruiker moet dus ook in staat gesteld worden om notificaties te ontvangen van een resource. Ook wanneer een gebruiker de website verlaat moet het mogelijk zijn de observe te laten doorlopen.

5.1.2 Belangrijke aspecten

Deze module werd ontworpen met het oog op bepaalde aspecten waarmee rekening moet worden gehouden. We sommen enkele van de belangrijkste op.

Modulariteit

Een van de grote troeven van Drupal is de modulariteit die aangeboden wordt. Het is dan ook van uiterst belang dat onze module dit principe niet verbreekt, maar juist doorzet. In hoofdstuk 4 zagen we al hoe een aparte CoAP library ontwikkeld werd. Dit heeft als gevolg dat elke Drupal gebruiker de kans heeft gebruik te maken van de library en dus zelf een module zou kunnen bouwen gelijkaardig aan de onze.

Dit geldt ook voor deze module die we nu bespreken, deze is ook bruikbaar voor elke gebruiker die dat wil. Naast het installeren van de CoAP library en deze module, hoeft de gebruiker niets extra te doen om deze module te gebruiken. Databanktabellen worden gecreëerd en content types worden geïnstalleerd, zonder dat de gebruiker daar iets hoeft voor te configureren.

Onze module heeft zo ook enkele modules nodig die de gebruiker eerst moet installeren. Drupal zal hierbij automatisch aangeven welke modules eerst moeten worden genstalleerd. Het betreft de volgende modules:

- Background process [14]: Deze module maakt het gebruik van achtergrondprocessen mogelijk. (bvb voor observe)
- Progress [19]: Deze module moet worden toegevoegd omdat de Background Process module hiervan afhankelijk is.
- CoAP library (Zie hoofdstuk 4): Onze eigen geschreven module die instaat voor alle CoAP communicatie.
- Entity API [16]: Een veelgebruikte module (wordt namelijk opgenomen in de core van Drupal 8). Breidt de functionaliteit uit die met entities kan verwezenlijkt worden. Deze module wordt besproken in ??.
- Node reference [20]: Een module die gebruikt wordt om in een bepaalde node te verwijzen naar andere nodes.

Er zijn ook modules die niet strikt noodzakelijk zijn maar wel extra functionaliteit bieden:

- Views[21]: Maakt het gebruik van views mogelijk.
- Views UI: Stelt een user interface ter beschikking om eigen views te maken en te beheren. Deze module is onderdeel van de views module.

Minimalisatie van netwerkbelasting

Mogelijks zijn meerdere gebruikers van een Drupal-website geïnteresseerd in een observable resource. Het is niet aanvaardbaar dat de netwerkbelasting zou stijgen met het aantal geïnteresseerden voor die resource. Daarom gedraagt Drupal zich eigenlijk als intermediaire server voor de eindgebruikers. Er wordt namelijk maar één observe uitgevoerd door Drupal, ongeacht het aantal gebruikers dat geïnteresseerd is in die resource. De notificaties worden op de server in de databank gestopt en het zijn deze waarden waarop de gebruikers uiteindelijk pollen.

Bovendien zorgt dit voor een vorm van controle over verkeer naar de resources, de gebruikers van de website kunnen namelijk niet zelfstandig CoAP praten met de resources.

Asynchroniteit

In een eerste fase van deze module werd er gebruik gemaakt van een formulier. Bij het indienen van dit formulier, werd eerst de request om de waarde op te halen uitgevoerd en dan gewacht op de response om de nieuwe pagina op te bouwen. Het spreekt voor zich dat dit geen goede oplossing is, daar de gebruiker zal moeten wachten op de pagina wanneer de communicatie traag is of misloopt. De gebruiker kan snel het idee krijgen dat er geen verbinding meer is met de website.

In hoofdstuk 2 zagen we dat een mogelijke oplossing het gebruik van jQuery is. In deze situatie is jQuery echter geen goede optie omdat jQuery de databank van Drupal niet zomaar kan manipuleren. Hiervoor zouden een connectiestring, wachtwoord en dergelijke gegevens nodig zijn, en jQuery van die informatie voorzien is een grote bedreiging voor de veiligheid, bovendien zou dit een oplossing zijn met een zeer sterke koppeling, wat nooit een goed idee is.

De gebruikte oplossing illustreert alweer de voordelen van een open source platform met een uitgebreide community. Er is namelijk al een Background Process module gemaakt in het verleden, het zou dus zonde zijn om hier niet dankbaar gebruik van te maken. Zoals de naam suggereert, biedt de Background Process module de mogelijkheid om achtergrondprocessen op te starten. Deze draaien op de achtergrond op de server en storen dus geen andere processen zoals het opbouwen van een pagina voor de gebruiker, waardoor de gebruiker dus niet geconfronteerd wordt met lange wachttijden.

Sterker nog, er is ook een functie voorzien om een HTTP GET-request uit te voeren, waarbij je een callback-functie opgeeft. Wanneer er een response is, zal dus automatisch de opgegeven functie als achtergrondproces opgeroepen worden met de response als argument. Deze functie

zal dus goed van pas komen in de eerste versie van de module, die gebruik maakt van een HTTP/CoAP-proxy. Deze wordt beschreven later in dit hoofdstuk (Zie paragraaf 5.3.1).

Strategie bij ontvangst van waarden

Push-strategie: De mooiste oplossing en tevens degene met het minste aandeel aan overhead, is een oplossing waarbij de server zelf op eigen initiatief data kan sturen naar de client. Merk op dat we hier als server de Drupal server bedoelen en als client de browser. Hierbij is dan geen polling-mechanisme nodig door de client, wat de netwerkbelasting drastisch verlaagt en de verantwoordelijkheid verschuift naar de server.

Om een push-strategie te verwezenlijken werd een uitgebreide literatuurstudie van node.js uitgevoerd. Node.js is een javascript-library die je in staat stelt bi-directioneel verkeer te verwezenlijken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van kanalen die worden opgezet, zo'n kanaal kan dan door beide partijen gebruikt worden.

Concreet zou het in de context van deze masterproef mogelijk zijn om met node.js een JavaScript-functie op te roepen bij de client op initiatief van de server.

Er is meermaals gepoogd dit te realiseren, maar de summiere documentatie van node.js laat op sommige vlakken te wensen over. Zo zijn we er niet in geslaagd documentatie te vinden over het opzetten van een eigen kanaal of een bestaand kanaal te gebruiken.

Bovendien is het nodig voor node.js om een extra server te draaien waarlangs het verkeer moet passeren. Aangezien het vaak niet mogelijk is om de shell van de webserver te gebruiken in een free-hosting omgeving, is dit een erg groot nadeel. Er bestaan wel servers die je kan gebruiken, maar dit tegen betaling. Wij, als ontwikkelaar van de module, kunnen niet verwachten dat een eindgebruiker een extra server ter beschikking heeft of dat zelfs wil. Het is de bedoeling dat onze module zo veel mogelijk out-of-the-box bruikbaar is.

De conclusie is dat wij geopteerd hebben geen gebruik te maken van node.js en dus ook niet van een push-strategie.

Pull-strategie: Aangezien een push-strategie niet of moeilijk kan gebruikt worden, hebben wij gekozen voor een pull-oplossing.

Uiteraard was de eerste reactie gebruik te maken van de Drupal-community en dus te zoeken

in de vele modules die beschikbaar zijn. Er is tot op heden geen module geschreven door iemand anders in de Drupal-community dat ons probleem behandelt. De inspiratie voor de uiteindelijke oplossing werd wel gehaald uit een bestaande module, namelijk de Block Refresh-module [15]. Deze laatste maakt gebruik van jQuery en AJAX calls om periodiek de inhoud van een block te refreshen, waarbij je zelf de lengte van de periode kan bepalen. In jQuery loopt een timer die periodiek een JavaScript-functie oproept. In deze functie wordt dan een AJAX call uitgevoerd naar de Drupal server, die op zijn beurt een antwoord terug stuurt.

Wij hebben geopteerd het mechanisme licht te wijzigen in plaats van de module zelf te gebruiken. Aan de basis van deze beslissing liggen drie redenen:

- Wij wensen de content slechts aan te passen wanneer nodig. Dit wil zeggen, wanneer een nieuwe waarde is binnengekomen. Bovendien hoeft niet alle content vernieuwd te worden, dit doet de Block Refresh module wel.
- De configuratie van de periode voor het vernieuwingsinterval is in onze ogen relatief omslachtig. De gebruiker moet al een configuratievenster openen om het interval te wijzigen, wat wachttijden met zich meebrengt. Het zal blijken dat in onze uiteindelijke module het interval snel en gemakkelijk te wijzigen is.
- De uiteindelijke module zal geen blocks meer gebruiken, maar content types. Dit maakt het gebruik van de Block Refresh module zelfs onmogelijk.

De aangepaste methode werkt als volgt: Wanneer de pagina geladen wordt bij de client, start een timer die periodiek een AJAX call uitvoert naar de Drupal server. De gebruiker kan hierbij bepalen hoe lang die periode moet zijn. Op de Drupal server is dan een AJAX callback functie gedefinieerd aan de hand van de hook `hook_menu()`. Deze hook wordt gebruikt om menu items toe te voegen aan de site en om AJAX callbacks te definiëren. Alle output die gegenereerd wordt in deze callback wordt als antwoord teruggestuurd op de AJAX callback.

Wat de callback terugstuurt en hoe die inhoud wordt verwerkt, verschilt per versie van onze module. Dit zal dan ook besproken worden in de gepaste paragrafen (Zie paragraaf 5.3).

Caching

Een bericht kan een maximum levensduur hebben, dit wordt aangegeven met een max-age optie (optie 14) in het bericht. Deze bevat dan een numerieke waarde die aangeeft in seconden hoelang de waarde als geldig mag worden beschouwd. Wanneer deze maximum levensduur overschreden wordt, mag deze waarde niet meer worden gebruikt. Dan moet bij een volgende aanvraag door een gebruiker een nieuwe waarde worden opgehaald van de resource. Bijgevolg wordt een opgehaalde waarde in de databank gestopt. Wanneer de maximum levensduur nog niet overschreden is bij een aanvraag, wordt de waarde uit de databank gehaald. De resource en het netwerk worden dan dus niet onnodig belast. Dit zorgt er ook voor dat de belasting op een resource niet evenredig stijgt met het aantal gebruikers die er een waarde van willen opvragen. Dit aspect is zeker een van de meer belangrijke omdat verbindingen naar een resource vaak een beperkte bandbreedte kennen. Bovendien bestaat de energievoorziening van sensoren vaak uit een batterij. Het werk dat zo'n sensor moet verrichten, moet dus worden geminimaliseerd.

5.1.3 Content-type in de databank

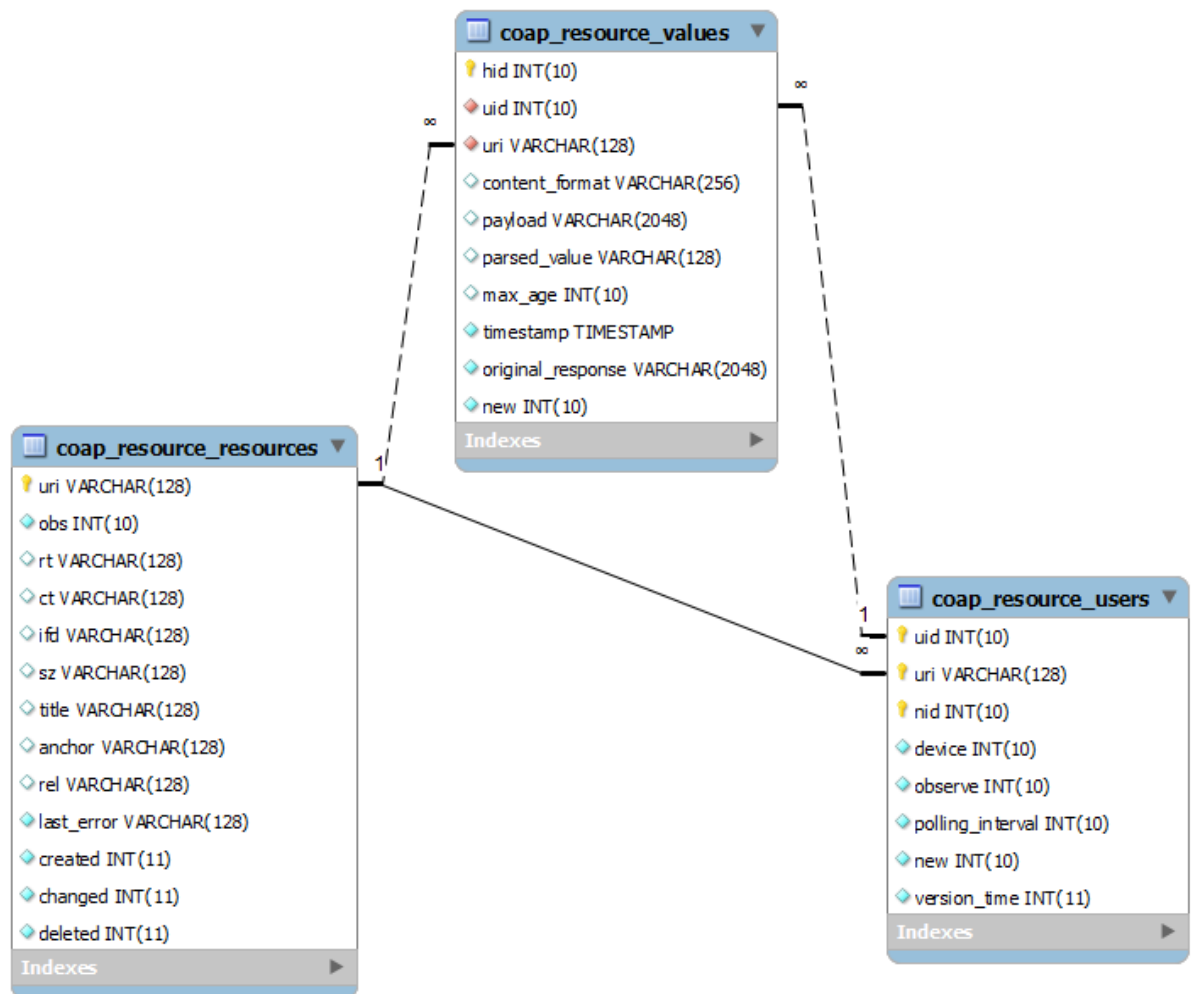
Onder content-type van de databank verstaan we de definitie van nodige databanktabellen en -kolommen. Er moet namelijk heel wat data opgeslagen worden waaronder de verschillende resources, users en de opgehaalde waarden.

We onderscheiden drie tabellen (Zie figuur 5.2):

coap_resource_resource

Deze tabel bevat een entry voor elke CoAP resource die nodig kan zijn en bovendien een entry voor elk embedded device waarop de resources aangesloten zijn. Deze tabel bevat de volgende kolommen (Zie figuur 5.2):

- uri: Dit is de volledige URI van de resource, dus IPv6-adres en URI-path. Dit is tevens de primaire sleutel van deze kolom, elke waarde moet dus uniek zijn.
- obs, rt, ct, ifd, sz, title, anchor en rel: Deze kolommen bevatten waarden die bekomen worden bij resource discovery. Deze werden eerder uitgelegd in paragraaf 3.3.2.
- last_error: Deze kolom bevat voor elke resource de laatst opgetreden fout. Zo kan een browser te weten komen bij polling dat er iets foutliep bij communicatie met de betreffende



Figuur 5.2: EER-diagram van de door ons toegevoegde tabellen.

resource.

- created: De UNIX timestamp van de tijd waarop deze resource aangemaakt werd.
- changed: De UNIX timestamp van de tijd waarop deze resource het laatst gewijzigd werd.
- not_in_core: Een waarde om aan te geven of deze resource nog in de well-known/core zit van een device.

coap_resource_interested_user

In deze tabel wordt bijgehouden welke users geïnteresseerd zijn in specifieke resources en devices. Ze bevat een entry voor elk koppel user/resource en user/device en wordt impliciet geassocieerd met een instantie van respectievelijk coap_resource of coap_device. Op die manier kan per user

worden bijgehouden wat hij/zij met een bepaalde resource wil doen. Ze bestaat uit de volgende kolommen:

- uid: Een unieke identificatie voor een gebruiker. Dit ID is overgenomen uit Drupal, daar hebben alle gebruikers ook een uniek User ID. Deze kolom is tevens deel van de primaire sleutel.
- uri: De URI van de resource waarin de gebruiker geïnteresseerd is. Dit is dezelfde URI als in de vorige tabel (`coap_resource_resources`). Deze kolom vormt dus een foreign key en maakt tevens deel uit van de primaire sleutel.
- nid: Een unieke identificatie van de node (Node ID) waaraan de resource gekoppeld is in Drupal. Deze kolom is ook deel van de primaire sleutel.
- device: Deze waarde geeft aan of het een resource of een volledig embedded device betreft (0 = resource, 1 = device).
- observe: Deze waarde geeft aan of de gebruiker momenteel de resource wil observeren of niet (0 = niet observeren, 1 = wel observeren).
- polling_interval: Dit is de periode in seconden tussen twee polls van de browser naar de Drupal server, deze is default drie seconden.
- new: Deze waarde duidt aan of er inmiddels een nieuwe discovery is uitgevoerd of bezig is voor een device. Deze waarde heeft momenteel enkel voor devices. (0 = up-to-date, 1 = discovery bezig, 2 = discovery klaar)

De primaire sleutel bestaat uit de combinatie van de kolommen uid, uri en nid. Elke combinatie van waarden uit deze drie kolommen moet per entry uniek zijn.

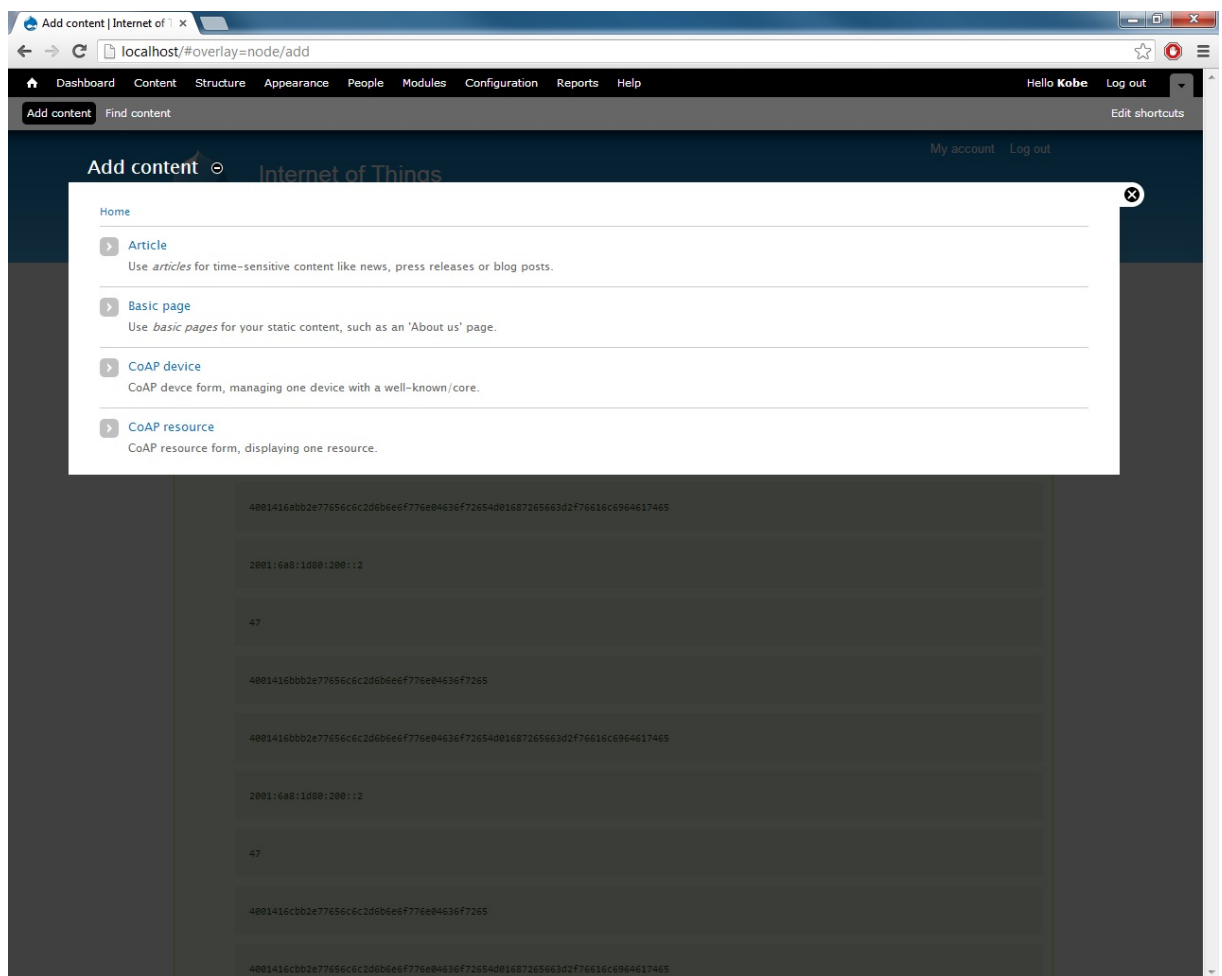
coap_resource_value

Deze tabel bevat een entry voor elke waarde die is binnengekomen. Bovendien wordt een nieuwe waarde even veel keren toegevoegd als er geïnteresseerden zijn voor die waarde op dat moment. Dit lijkt op het eerste zicht redundante informatie, maar het heeft wel degelijk nut. Zo kan men bijvoorbeeld later te weten komen voor een bepaalde user, welke waarden hij/zij in welke periode heeft opgevraagd. De tabel bevat de volgende kolommen:

- `hid`: Een uniek ID voor de entry automatisch gegenereerd bij toevoegen aan de databank. Dit is de primaire sleutel, dus deze waarden moeten uniek zijn.
- `uid`: Het ID van de user waarvoor deze waarde opgeslagen is. Dit is hetzelfde ID als in de `coap_resource_users`-tabel en vormt dus een foreign key.
- `uri`: De URI van de resource waarvan deze waarde komt. Dit is dezelfde URI als in de `coap_resource_resources`-tabel en vormt dus een foreign key.
- `content_format`: Bevat voor elke entry het formaat van het bericht, aangeduidt met een leesbare naam (bijvoorbeeld plain text, JSON, ...).
- `payload`: De payload van het bericht in leesbare vorm.
- `parsed_value`: Indien mogelijk bevat dit een waarde die geparset is uit de payload, bijvoorbeeld een numerieke waarde. Indien er geen waarde kon geparset worden bevat deze kolom gewoon de payload.
- `max_age`: Geeft aan wat de geldigheidsduur is voor deze waarde, deze is default nul.
- `timestamp`: Het tijdstip waarop de waarde in de databank werd opgeslagen in mysql timestamp-formaat. Deze wordt automatisch gegenereerd. Samen met de max-age kan men dus bepalen of de waarde nog geldig is.
- `original_response`: De originele response op het CoAP request-bericht in hexadecimale vorm.
- `new`: Geeft aan of de waarde reeds opgehaald werd om te tonen aan de gebruiker (0 = reeds afgehaald, 1 = nog niet afgehaald, default waarde = 0).

5.1.4 Content-types in Drupal

Bij installatie van de module worden twee content types mee geïnstalleerd. We bespreken wat de mogelijkheden ervan zijn en hoe ze eruitzien. Het laten installeren van content types zorgt ervoor dat een Drupal gebruiker op een eenvoudige manier content kan toevoegen, in dit geval onderdelen van een CoAP-sensornetwerk. Concreet moet de gebruiker enkel op 'Add content' klikken op zijn/haar Drupal-website en het gewenste content type aanklikken. Na invullen van enkele vereiste velden wordt een node gecreëerd die de content voorstelt.



Figuur 5.3: Content toevoegen door op 'Add content' te klikken.

CoAP Resource

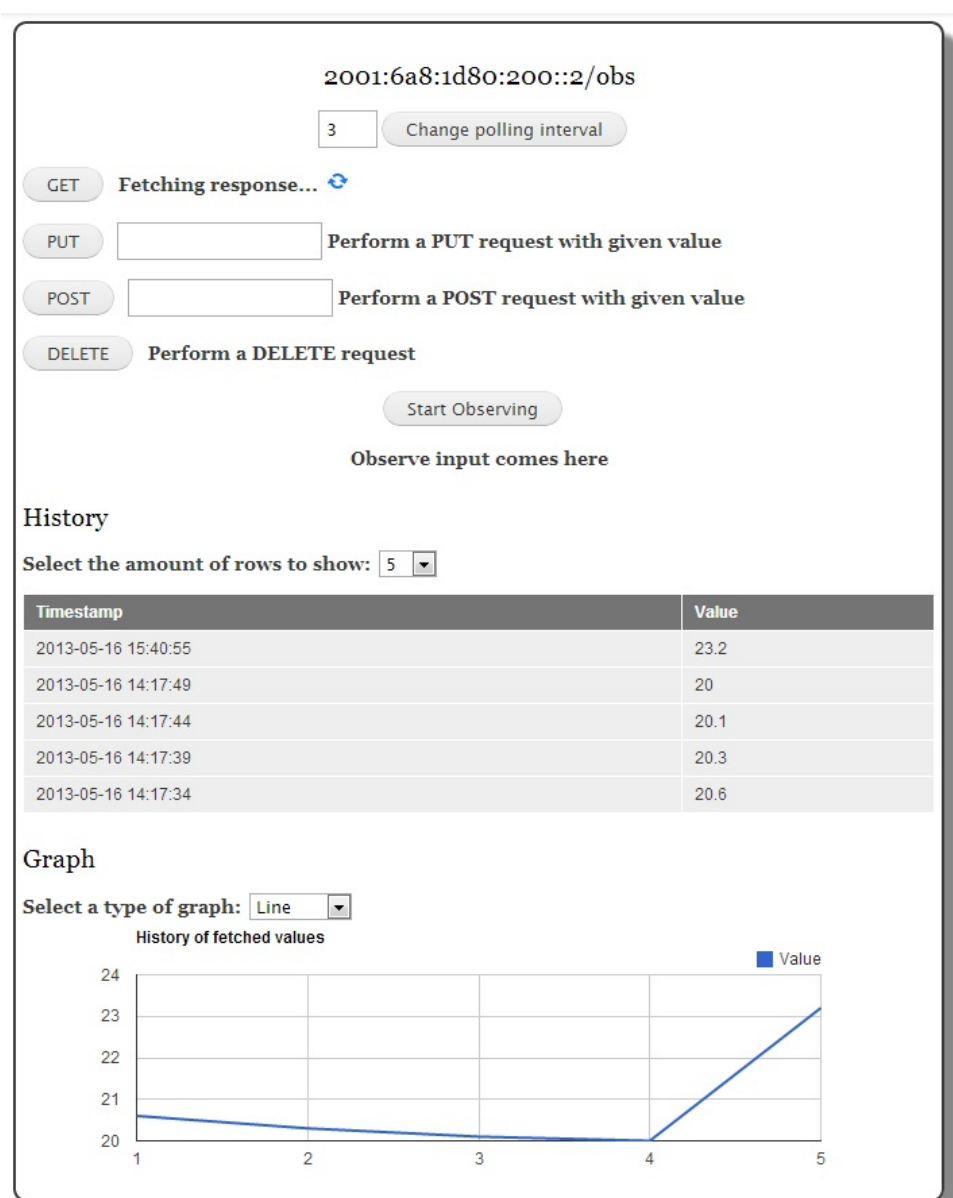
Dit content type stelt één resource voor. Bij het toevoegen wordt de URI opgegeven, deze bestaat uit het IPv6-adres van het embedded device waarop de resource is aangesloten en een URI-path. IPv6-adres en URI-path worden gescheiden door een slash ('/'). Een voorbeeld van een door ons vaak gebruikte URI is: 2001:6a8:1d80:200::2/test.

 The image shows the 'Create CoAP resource' form in the 'Internet of Things' dashboard. The form has a dark header with the title 'Create CoAP resource' and a plus icon. Below the header, there is a breadcrumb 'Home » Add content'. The form contains two main fields: 'Title' with a red asterisk and a text input containing 'CoAP resource: test', and 'Resource URI' with a red asterisk and a text input containing '2001:6a8:1d80:200::2/test'. Below the URI field, there is a label 'Enter URI'.

Figuur 5.4: Adding content of content type CoAP resource

Er wordt gevalideerd op de structuur van de URI, wanneer de gebruiker een foute URI opgeeft

wordt er een foutmelding getoond en krijgt de gebruiker opnieuw de kans om een geldige URI op te geven. Wanneer de URI gevalideerd is, krijgt de gebruiker de visuele representatie te zien. De gebruiker krijgt nu de kans om de REST-methodes GET, PUT, POST en DELETE uit te voeren en een observe. Bovendien krijgt de gebruiker een geschiedenis van opvragingen voor deze resource te zien en krijgt hij ook de kans een grafiek te laten genereren. Voor het type grafiek heeft de gebruiker de keuze uit een lijn-, staaf-, of taartgrafiek. De gebruiker moet zelf weten welke soort grafiek nuttige informatie kan bevatten.



Figuur 5.5: Visuele representatie van het content type CoAP resource.

CoAP Device

Dit content type stelt een volledig embedded device voor waarop één of meerdere resources zich bevinden. Bij toevoegen van dit content type hoeft de gebruiker enkel het IPv6-adres op te geven. Aan de hand van resource discovery wordt dan een lijst van aangesloten resources opgebouwd en getoond aan de ge-

bruiker. Nu kan de gebruiker doorklikken naar een resource die voorgesteld wordt aan de hand van het content type CoAP resource beschreven in de vorige subparagraaf.

Figuur 5.6: Adding content of content type CoAP device

Device URI:

2001:6a8:1d80:200::2

Refresh device

Resources:

CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/create2
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/test
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/link2
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/obs
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/multi-format
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/large-update
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/separate
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/location-query
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/query
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/large
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/link4
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/seg1/seg2/seg3
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/large-create
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/link3
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/t
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/link1
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/s
 CoAP Resource: 2001:6a8:1d80:200::2/validate

Figuur 5.7: Visuele representatie van het content type CoAP device.

5.2 Implementatie van de CoAP library-hooks

In deze paragraaf bekijken we hoe deze module de hooks implementeert die de CoAP library voorziet (Zie paragraaf 4.2.3).

5.2.1 `hook_receive_notification()`

Deze hook wordt opgeroepen door de CoAP library wanneer een bericht binnenkomt op de socket. Er wordt een response-object gemaakt van de klass `CoAPMessage` dat tevens meegegeven wordt als enige attribuut van de hook.

In deze module worden in de hook volgende stappen ondernomen:

- De benodigde waarden worden uit het response-object gehaald en in de databank gestopt voor de huidige gebruiker.
- De user ID's van alle andere geïnteresseerden (dus niet de huidige gebruiker) voor de betreffende resource worden opgehaald uit de databank.
- Voor elk van deze users worden de waarden uit het response-object ook toegevoegd aan de databank.

5.2.2 `hook_receive_error()`

Deze hook wordt voorzien van de volgende parameters: een errorstring, het IPv6-adres van het embedded device en de naam van de resource. Ze wordt opgeroepen wanneer één van de volgende gebeurtenissen zich voordoet:

- De socket kon niet worden geopend naar het embedded device. Deze gebeurtenis resulteert in een errorstring gelijk aan 'unreachable'.
- De tijdsspanne verstrijkt waarin een antwoord zou moeten ontvangen zijn, dit wordt bepaald met het exponential backoff-mechanisme (Zie paragraaf 4.2.4). Dit levert een errorstring gelijk aan 'delay'.
- Het maximum aantal pogingen om het bericht opnieuw te versturen is verstreken (Zie paragraaf 4.2.4). Nu zal de errorstring gelijk zijn aan 'broken'.
- Ook wanneer het zeker is dat er geen fout is opgetreden, wordt dit gemeld met deze hook. De errorstring wordt dan gelijk aan 'none'.

Wanneer nu de hook wordt opgeroepen voor de module die in dit hoofdstuk besproken wordt, zal de errorstring opgeslagen worden bij de betreffende resource in de databank.

5.2.3 `hook_stop_observers()`

Wanneer een observe moet beëindigd worden, om welke reden dan ook (bijvoorbeeld wanneer de resource niet meer te bereiken is), wordt deze hook opgeroepen. Deze krijgt als parameters het IPv6-adres van het embedded device en de naam van de resource mee. Zo kan de module die deze hook implementeert ervoor zorgen dat de toestand consistent blijft voor de andere users. Concreet zal de module die in dit hoofdstuk wordt besproken, in de databank aanduiden dat users de betreffende resource niet meer aan het observeren zijn. Dit wordt voor elke user gedaan die geïnteresseerd was in deze resource.

5.3 Evolutie van de module

5.3.1 Temperatuurmodule met HTTP/CoAP-proxy

In deze paragraaf wordt besproken hoe de eerste versie van de module werd gemaakt die gebruik maakt van een HTTP/CoAP-proxy. Bovendien wordt ook aangetoond hoe waarden opgeslagen worden in de databank om de geschiedenis van opvragingen bij te houden. Eigenlijk spreken we hier (en in enkele volgende paragrafen) beter van een temperatuurmodule, aangezien deze module slechts één resource bevraagt. Het betreft een resource die de waarde van een temperatuursensor terugstuurt. Deze resource werd gekozen vanwege de numerieke waarde die teruggestuurd wordt en omwille van het feit dat de resource observable is.

De module wordt aan de gebruiker gepresenteerd onder de vorm van een Drupal block. Deze block bevat een HTML-formulier met twee componenten als invoer. Een checkbox die aanduidt of de gebruiker waarden automatisch wil laten ophalen, en een knop die het formulier indient wanneer de gebruiker erop klikt.

Wanneer de gebruiker op de knop klikt en de checkbox heeft aangevinkt, worden waarden automatisch opgehaald met een interval gelijk aan de waarde van de max age. Merk op dat het hier nog niet om een CoAP observe gaat, want die is enkel mogelijk met native CoAP, in deze module werken we met een HTTP proxy. Periodiek wordt een HTTP GET-request naar een HTML-pagina uitgevoerd. Wanneer de response ontvangen wordt, wordt de HTML-pagina ge-

parsed, waarna de nuttige informatie in de databank wordt geplaatst. Met jQuery worden dan nieuwe waarden opgehaald en getoond aan de gebruiker.

Er is bij deze versie nog geen sprake van achtergrondprocessen waardoor het lang kan duren eer een pagina geladen wordt. Bovendien krijgt de gebruiker enkel een foutmelding (van de gebruikte webserver) te zien wanneer er geen communicatie mogelijk is.

Demo sensor

View Edit

Temperatuur

Automatisch ophalen is momenteel niet actief

Temperatuur:
20.2

Max age:
30

Hid	Temperatuur	Max age	Timestamp
77	20.2	30	22/03/2013 11:36:02
76	20.2	30	22/03/2013 11:35:32
75	22.9	30	13/03/2013 13:40:55
74	24	30	13/03/2013 13:40:24
73	24.2	30	13/03/2013 13:39:53

☐ Automatisch ophalen

Refresh

Figuur 5.8: *Temperatuurmodule met HTTP/COAP-proxy*

Proxy

Als proxy werd de coap.me website gebruikt van iMinds. Deze biedt de mogelijkheid om de notificaties van een embedded device te bekijken in een browser. De website biedt ook de mogelijkheid om door te klikken naar de notificatie om die volledig te bekijken op een pagina.

Het is deze laatste pagina die periodiek wordt opgehaald en geparsed. De communicatie vanwege de Drupal-module bestaat dus enkel uit HTTP-communicatie, de proxy verzorgt de nodige CoAP-berichten tussen zichzelf en het embedded device.

Polling

In deze eerste versie van de module bestond het antwoord bij de polling uit de volgende velden:

- Hid: De History ID dat een numeriek ID is voor de opgevraagde waarde. Het is tevens de index in de databanktabel met waarden en dus uniek.
- Temperatuur: Dit is de effectieve waarde in graden Celsius. Deze werd geparsed uit een string die de resource teruggaf.
- Max age: De antwoorden van de betreffende resource bevatten een Max-age optie. Dit is het aantal seconden dat deze waarde als geldig mag beschouwd worden.
- Timestamp: Het tijdstip waarop de waarde ontvangen werd.

5.3.2 Temperatuurmodule met native CoAP

Nu de omliggende structuur opgezet en uitgetest is, kan de communicatie veranderen van HTTP berichten naar native CoAP. Er is in deze versie echter nog geen sprake van de CoAP library. Deze versie beperkt zich tot een eerste test met CoAP communicatie.

Voor CoAP verkeer zal het UDP protocol gebruikt worden zoals voorgeschreven in de CoAP draft [7]. Eerst wordt een UDP socket geopend naar het betreffende IPv6-adres van het embedded device waarop de resource is aangesloten. Dit gebeurt met de functie `pfsockopen()` van PHP, deze opent een persistente socket. Vervolgens wordt een hexadecimale string opgesteld die het bericht voorstelt, ook deze opstelling gebeurt aan de hand van de CoAP draft [7]. Het bericht wordt verstuurd met de `fwrite()` functie. Hierna kan het antwoord opgehaald worden van de socket met de `fread()` functie die als enige parameter een grootte in bytes ontvangt. Belangrijk hierbij is dat die grootte minstens voldoende is om het volledige antwoord te omvatten.

Observe

Nu er gebruik gemaakt wordt van native CoAP is nu ook een echte CoAP observe mogelijk. Hierbij is het noodzakelijk dat de socket opengehouden wordt, dit omdat het embedded device nu op eigen initiatief berichten kan sturen. Aangezien de socket moet worden opengehouden, kan de code niet meer op de voorgrond draaien. Indien dit wel zo zou zijn, zou de pagina blijven laden. De gebruiker zal dan geconfronteerd worden met een timeout van de webserver waarop Drupal draait. Achtergrondprocessen zijn nu dus geen optie meer, maar een noodzaak. De code om een socket open te houden en te beheren zal dus opgestart worden in een achtergrondproces

aan de hand van de Background Process module die eerder al vermeld werd [14].

Bij ontvangst van een notificatie van de CoAP resource zal de waarde in de databank worden gestopt met bijbehorende velden. Deze velden zijn dezelfde als in de vorige versie van de module (Zie paragraaf 5.3.1). Het zijn deze waarden waarop de client zal pollen. Ook deze polling gebeurt op dezelfde manier als in de vorige versie van de module.

5.3.3 CoAP Resource module met externe CoAP library

Alle code die te maken had met CoAP communicatie was hardgecodeerde code wat onvermijdelijk leidde tot duplicatie van code. Bovendien bevond deze code zich in dezelfde module als diegene die nu wordt besproken. Dit heeft als gevolg dat andere gebruikers van Drupal geen gebruik kunnen maken van onze code om CoAP berichten te sturen en te ontvangen. Dit alles heeft geleid tot de ontwikkeling van onze eigen CoAP library in PHP onder de vorm van een externe module die apart kan worden gebruikt. Deze library werd eerder al besproken in hoofdstuk 4.

Nieuwe block

De module onderging in deze stap ook een visuele verbetering, maar ook een verbetering qua functionaliteit (Zie figuur 5.9). Zo kan de gebruiker nu met één block meerdere resources bevragen.

De gebruiker kan één resource selecteren met radiobuttons, wanneer de gebruiker dan op de knop 'Bekijken' klikt, wordt de pagina herladen en is de geselecteerde resource te bevragen. Door op de knop 'GET' te klikken, wordt een GET-request uitgevoerd op de geselecteerde resource. Er wordt ook een lijst met checkboxes ter beschikking gesteld. De gebruiker kan hierbij de resources aanvinken waarop een observe moet worden uitgevoerd. Wanneer de gebruiker een aangevinkte checkbox uitvinkt, zal de observe stoppen. De instellingen worden opgeslagen en de benodigde acties worden uitgevoerd wanneer de gebruiker op de knop 'Observe' klikt. Belangrijk hierbij is dat wanneer de pagina herladen wordt, de juiste checkboxes al worden aangevinkt zodat de gebruiker ten allen tijde weet welke resources al geobserveerd worden.

Een laatste verbetering bestaat uit een grafiek die automatisch wordt gegenereerd op basis van de geschiedenis van opvragingen. De grafiek wordt aan de hand van een AJAX call en de Google

Charts API [9] gerealiseerd. Het betreft hier de waarden van de resource die momenteel bekeken wordt en dus aangeduid is met een radiobutton.

Sensoren bevragen met het CoAP protocol



Message: B

Geef een URI

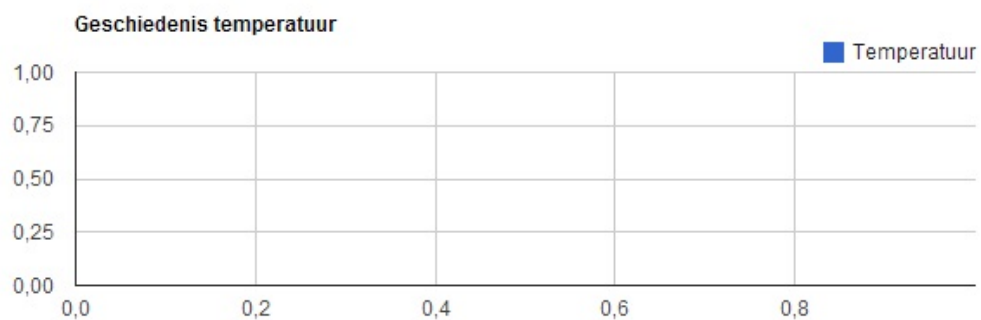
Invoeren

☐ 2001:6a8:1d80:200::2/obs

☐ 2001:6a8:1d80:200::2/test

Observe

Hid	Value	Max age	Timestamp
-----	-------	---------	-----------



Selecteer een resource

☒ 2001:6a8:1d80:200::2/obs

☐ 2001:6a8:1d80:200::2/test

Bekijken

Response:

GET

Figuur 5.9: Block met HTML-formulieren die de gebruiker toelaat meerdere resources met één block te bevragen.

5.3.4 CoAP Resource module met content type CoAP Resource

In de vorige versies werd de module weergegeven aan de hand van een HTML-formulier in een Drupal block. Het nadeel hiervan is dat men standaard slechts één instantie van het block gebruikt. Men kan echter wel het een en het ander verbeteren met de Views module, maar het is niet de bedoeling dat wij dit verlangen van de gebruiker. Bovendien is een block slechts een visuele blok op de website, het is niet echt een node of een stuk content.

Een beter en vaak gebruikt alternatief is het maken van een eigen content type. Wanneer men nu deze module installeert worden de eigen content types mee geïnstalleerd. Dit heeft als gevolg dat de gebruiker slechts op 'Add content' hoeft te klikken (Zie figuur 5.3), enkele benodigde velden in moet vullen en de content wordt automatisch gegenereerd en opgeslagen. Bij deze methode wordt al deze configuratie afgehandeld door Drupal mechanismen, zo worden bijvoorbeeld de velden opgeslagen in tabellen die behoren tot de Drupal core. Dit betekent dat onze content effectief wordt ingepast en geen losstaand geheel is. Het beheer van de content, manipulatie en dergelijke zal dus gebeuren met Drupal zoals dat gebeurt voor andere content types.

5.3.5 CoAP resource met volledige REST functionaliteit

Tot hertoe was enkel een GET-request mogelijk naar een resource, maar vaak ondersteunt een resource ook nog andere REST methodes (GET, PUT, POST, DELETE). Het is dus van groot belang dat onze module ook de mogelijkheid biedt om alle REST methodes uit te voeren.

Dit brengt ook mee dat de visuele representatie zal wijzigen (Zie figuur 5.10). De vier methodes worden met knoppen weergegeven in een tabel, eventueel vergezeld van een textbox indien invoer vereist is (PUT en POST). Onderaan de tabel wordt de response en response method getoond (205 Content, 405 Bad method,...).

Wij hebben ervoor gekozen dat de gebruiker voor elke resource, op elk moment elke REST methode kan uitvoeren. Er wordt namelijk al een gepaste response getoond wanneer een methode niet ondersteund is. Bovendien is een server niet verplicht in een resource discovery (Zie paragraaf 3.3.2) aan te geven welke methodes ondersteund zijn. Wil men voor elke server toch methodes uitschakelen die niet ondersteund zijn, dan zou men al een keer moeten proberen en testen of een 405 Bad Request teruggestuurd wordt.

Resource URI:

2001:6a8:1d80:200::2/validate

Polling gebeurt om de seconden. [Wijzigen](#)[Start observing](#)

Request methods			
GET	<input type="text" value="input"/> PUT	<input type="text" value="input"/> POST	DELETE
Response:			
Response type:			

Hid	Value	Max age	Timestamp
/			
/			
/			
/			
/			

Figuur 5.10: *Alle vier de REST methodes zijn nu ondersteund.***5.3.6 CoAP Resource module met resource discovery**

De gebruiker kan nu al meerdere CoAP resources toevoegen aan zijn/haar website. Het kan echter moeilijk zijn een overzicht te behouden over al deze resources en bovendien moet men van elke resource de specifieke URI kennen.

Deze nadelen kunnen worden weggewerkt door gebruik te maken van resource discovery. De technische uitleg en implementatiedetails werden al besproken in paragraaf 3.3.2. In deze module krijgt nu de gebruiker een lijst van CoAP resources te zien die aangesloten zijn op het embedded device. Om performantieredenen en omwille van het feit dat een well-known/core weinig of nooit verandert, wordt het resultaat van de resource discovery (Zie paragraaf 3.3.2) opgeslagen in de databank. Dit gebeurt in verschillende kolommen, een kolom per attribuut dat geleverd wordt door de resource discovery. Er wordt echter op de website wel nog een Refresh-knop voorzien

mocht de gebruiker de well-known/core toch willen vernieuwen.

Op de website wordt een resource weergegeven door de URI en de human readable name. Bovendien is voor elke resource ook een checkbox voorzien om aan te duiden dat de gebruiker geïnteresseerd is in de resource. De gekozen worden dan opgesomd en ter beschikking gesteld op dezelfde manier als in de vorige versie van de module (Zie figuur 5.9). In de volgende twee subparagrafen bespreken we twee mogelijke vormen die wij gemaakt hebben om de resource discovery en opsomming van de resources te combineren.

Resources | Discovery | Configuration

Device IPv6 address *

2001:6a8:1d80:200::2

Load device Refresh device Clear

	uri	human-readable name
<input type="checkbox"/>	2001:6a8:1d80:200::2/create2	Create2 resource
<input type="checkbox"/>	2001:6a8:1d80:200::2/large-update	Large resource that can be updated using PUT
<input type="checkbox"/>	2001:6a8:1d80:200::2/obs	Observable resource that changes every 5 seconds.
<input type="checkbox"/>	2001:6a8:1d80:200::2/t	
<input type="checkbox"/>	2001:6a8:1d80:200::2/test	Default test resource
<input type="checkbox"/>	2001:6a8:1d80:200::2/validate	ETag test resource

Save

Figuur 5.11: Opsomming van resources aan de hand van resource discovery.

Multi-form

Een eerste mogelijkheid bestaat erin eerst de lijst te presenteren aan de gebruiker. De gebruiker kiest dan een aantal resources die hij/zij wil toevoegen aan de website, waarna hij/zij op de knop 'Save' klikt. Hierna wordt een nieuwe pagina getoond die de gebruiker toelaat de resources te beheren en te bevragen (Zie figuur 5.9).

Tabbladen

Het nadeel bij het gebruik van een Multi-form is dat de gebruiker slechts één keer de kans krijgt om resources aan te duiden. De tweede mogelijkheid bestaat uit een pagina met tabbladen, zo kan de gebruiker steeds terugkeren naar de discovery om resources toe te voegen of te verwijderen.

Merk op dat wanneer een resource verwijderd wordt, dit niet het geval is voor de waarden die ervan opgehaald zijn. Deze blijven aanwezig in de databank en zullen ook weer te zien zijn wanneer de resource later opnieuw wordt toegevoegd. Er zijn 3 tabbladen voorzien (Zie figuur 5.11):

- **Resources:** Dit tabblad bestaat uit het block dat de gebruiker in staat stelt de resources te beheren en te bevragen zoals bij Multi-form en in de vorige versie van de module (Zie figuur 5.9).
- **Discovery:** Dit tabblad toont de lijst van resources met bijbehorende checkbox (Zie figuur 5.11).
- **Configuration:** Dit tabblad is voorzien voor een configuratie die door de gebruiker kan worden ingesteld. Deze is echter niet geïmplementeerd in deze module, maar kan wel toegevoegd worden in verder ontwerp (Zie paragraaf 6.7).

5.3.7 CoAP resource met meerdere content types

Er is nog één nadeel dat de kop opsteekt bij de vorige versie van de module. De gebruiker kan nu namelijk geen aparte resource toevoegen zonder dat daar de functionaliteit van resource discovery bijkomt. We gaan er in deze, voor ons laatste, versie van de module voor zorgen dat een gebruiker kan kiezen of hij/zij een CoAP resource of een CoAP device toevoegt. Dit wordt gerealiseerd met de al eerder behandelde content types. Er worden nu twee content types gecreëerd bij installatie van de module, één voor een CoAP resource (Zie figuur 5.5) en één voor een CoAP device (Zie figuur 5.7).

Wanneer een CoAP device wordt toegevoegd door de gebruiker, wordt er automatisch een resource discovery op uitgevoerd. De gebruiker krijgt dan een lijst van links te zien, één link per aangesloten CoAP resource (Zie figuur 5.7). Bovendien wordt voor elk van die resources content aangemaakt van het content type CoAP resource. De gebruiker zal geen 2 gelijke resources kunnen toevoegen om duplicatie van content te vermijden. Wanneer de gebruiker toch dezelfde resource op verschillende plaatsen van de website wil krijgen, raden wij aan de Views module te gebruiken [21]. Met Views kan men meerdere visuele representaties maken van dezelfde content, dus zonder content te dupliceren.

Polling

In vorige versies van de module had de gebruiker niet de kans om meerdere resources op één pagina te zetten met de Views module. Dit was in principe wel mogelijk, maar er zouden fouten optreden daar de polling gebeurde op basis van welke resource geselecteerd was. Dit selecteren van resources is in deze versie weggewerkt, elke resource is een op zichzelf staand geheel (Zie figuur 5.5). In deze versie is dit wel mogelijk omdat het polling mechanisme grondig werd aangepast zoals nu zal blijken.

Een poll gebeurt nu specifiek voor een URI die opgegeven wordt in de URL waarnaar een AJAX call wordt uitgevoerd. Bovendien werd in de databank een extra kolom 'New' toegevoegd aan de waardentabel. Deze duidt aan of een waarde reeds is opgehaald of nog niet (0 = reeds opgehaald, 1 = nog niet opgehaald). De kolom heeft als default waarde 1, dus nieuwe waarden worden automatisch als nieuw aangeduid. Wanneer een waarde opgehaald wordt uit de databank wordt de waarde in de kolom 'New' op 0 gezet.

Het pollen naar waarden voor een specifieke URI gebeurt nu als volgt:

- Er wordt in jQuery een AJAX call uitgevoerd naar een bepaalde URL, bijvoorbeeld `http://localhost/coap_resource/poll/2001:6a8:1d80:200::2|test`. In de URI wordt een slash vervangen door een rechte streep ('|'), anders wordt de slash geïnterpreteerd.
- Op de webserver wordt in Drupal de URI uit de aanvraag-URL gehaald en worden de slashes terug geplaatst.
- De URI wordt gebruikt in een select-query om de nog niet opgehaalde waarden op te halen, dit wil zeggen de rijen waarvan de waarde in de kolom 'New' op 1 staat.
- Er wordt een update-query uitgevoerd om van de opgehaalde rijen de waarde in de kolom 'New' te wijzigen naar 0. Dit om aan te geven dat de waarden reeds opgehaald werden.
- De opgehaalde rijen worden in een XML-structuur gegoten samen met identificatie van de resource (de URI) en een eventuele errorstring. Deze XML-structuur wordt na deze stappen toegelicht.
- De XML-structuur wordt uitgeprint en dus teruggestuurd als antwoord op de AJAX call.
- in jQuery wordt dan het antwoord geparsed. De errorstring wordt eruit gehaald en eventuele fouten worden getoond aan de gebruiker (Zie paragraaf 5.3.7). Daarna wordt elke

opgehaalde rij één voor één overlopen en toegevoegd aan de visuele content die de gebruiker ziet.

De XML-structuur die eerder werd aangehaald bestaat uit een allesomvattend hoofdelement `<poll>`. Dit element bevat 3 andere soorten elementen:

- `<uri>`: Dit element komt één keer voor, het bevat de URI en dus de identificatie van de resource.
- `<error>`: Net als het vorige element komt dit element ook één keer voor, het bevat de eventuele errorstring. Deze kan één van de volgende zijn: none, delay, broken of unreachable.
- `<entry>`: Dit element stelt een rij voor met een waarde. Dit element kan dus nul of meer keren voorkomen. Het bestaat zelf uit de volgende elementen:
 - `<Hid>`: de history ID van de rij.
 - `<Value>`: de effectieve (eventueel geparseerde) waarde van de rij.
 - `<Max age>`: Het aantal seconden dat deze waarde als geldig mag worden beschouwd.
 - `<Timestamp>`: Het tijdstip waarop de waarde ontvangen werd op de Drupal server.

Een voorbeeld van een antwoord op een AJAX call bij polling:

Listing 5.1: Voorbeeld antwoord op AJAX call bij polling

```
<poll>
  <uri>2001:6a8:1d80:200::2</uri>
  <error>none</error>
  <entrys>
    <entry>
      <hid>76</hid>
      <value>20.2</value>
      <max_age>30</max_age>
      <timestamp>2013-05-20 20:36:32</timestamp>
    </entry>
    <entry>
      <hid>77</hid>
```

```
<value>20.4</value>
<max_age>30</max_age>
<timestamp>2013-05-20 20:36:37</timestamp>
</entry>
</entry>
</poll>
```

Templating

Nu de functionaliteit min of meer op punt staat, wordt het tijd voor visuele opmaak. En dit op een manier die aangeraden wordt door de Drupal community, waarbij de view netjes gescheiden wordt. Concreet maken we een template voor het content-type CoAP resource. Drupal voorziet hier een handig mechanisme voor, men kan namelijk een template maken voor een specifiek content-type. Het enige wat men moet doen om ervoor te zorgen dat die template automatisch wordt opgeroepen voor het content-type, is het template-bestand de juiste naam geven. Drupal voorziet namelijk in alle themes een standaard template voor een node, namelijk `node.tpl.php`. Om nu onze template te definiëren, moet deze de naam `node-coap_resource.tpl.php` dragen, daar de naam van ons content-type `coap_resource` is.

Het voordeel van deze benadering is dat men in dit bestand HyperText Markup Language (HTML) kan schrijven. Wanneer men bepaalde attributen of content nodig heeft voor de visuele representatie, kan men die variabelen voorzien door gebruik te maken van de hook `hook_preprocess_node()`. Deze hook wordt op voorhand opgeroepen en variabelen worden klaargezet. In het template-bestand kan men deze variabelen bereiken aan de hand van PHP-scriptlets (Zie listing 5.2). Men kan in deze templates dus ook PHP-code laten uitvoeren, al beperkt men dit best tot een minimum om de view gescheiden te houden. Concreet worden bij ons de URI van de resource en enkele waarden gebruikt in het template-bestand.

Er stelt zich nu wel nog een probleem, het template-bestand moet namelijk op de juiste plaats staan, en dit in de directory van het gebruikte theme. Men voegt echter beter geen bestanden toe aan de Drupal core en bovendien kunnen wij dat ook niet verwachten van de eindgebruiker. Het template-bestand zou automatisch moeten worden opgenomen in het gebruikte theme, waarbij het template-bestand gewoon in onze module kan blijven staan. Na grondig onderzoek bleek

dit mogelijk aan de hand van een hook, namelijk de hook `hook_theme_registry_alter()`. Die geeft ons de kans een pad toe te voegen aan het theme-registry, waardoor het template zal gevonden worden bij het bouwen van de view [31].

Listing 5.2: Voorbeeld van een template met PHP-scriptlets (`node.tpl.php`)

```
<div id='node-<?php print $node->nid; ?>' >
  <?php print render($title_prefix); ?>
  <?php if (!$page): ?>
    <h2<?php print $title_attributes; ?>>
      <a href='<?php print $node_url; ?>'>
        <?php print $title; ?>
      </a>
    </h2>
  <?php endif; ?>
  <?php print render($title_suffix); ?>
</div>
```


Foutmechanisme


Tot nog toe bleef de gebruiker in het ongewisse wanneer er iets foutliep in de communicatie met een CoAP resource. Dit is niet gebruiksvriendelijk en kan voor ergernissen zorgen.


Nu hebben we in de vorige hoofdstukken al gezien dat fouten al geregistreerd worden aan de hand van enkele errorstrings. Deze zijn zelfs al ter beschikking in jQuery bij elke poll (Zie polling hierboven). Het enige wat nu nog moet gebeuren is een gepaste boodschap tonen in de visuele representatie. Zoals te zien in figuur 5.12 wordt in het groen een vinkje getoond wanneer een operatie geslaagd is. Wanneer de communicatie niet gelukt of foutgelopen is wordt de methode geannuleerd en wordt een kruisje in het rood getoond. Ook wanneer een methode niet ondersteund is, wordt dit kruisje getoond. Wanneer het antwoord op zich laat wachten worden roterende blauwe pijltjes getoond.


2001:6a8:1d80:200::2/large-update

Change polling interval

GET Fetching response... 

PUT 

POST **This method is not supported on this resource** 

DELETE **This method is not supported on this resource** 

Start Observing

test

Figuur 5.12: *Mechanisme om fouten te tonen aan de gebruiker.*

Hoofdstuk 6

Uitbreidingen

Het eindresultaat van onze module is een afgerond geheel en is dus ook bruikbaar. Er zijn echter nog enkele mogelijke uitbreidingen die wij voor ogen zagen. Deze hebben wij niet geïmplementeerd wegens tijdsgebrek. We sommen in dit hoofdstuk enkele van deze uitbreidingen op en bespreken hoe wij ze eventueel zouden implementeren.

6.1 Keuze van interval bij automatisch ophalen

Onze huidige module voorziet een alternatieve vorm van de CoAP observe voor CoAP resources die niet observable zijn. Een gebruiker kan namelijk waarden periodiek laten ophalen, dit gebeurt aan de hand van opeenvolgende GET requests waartussen een bepaald interval ligt. In onze module bedraagt die een hardgecodeerd aantal seconden (namelijk 5). Men zou echter de module gebruiksvriendelijker en meer configureerbaar kunnen maken door de gebruiker het interval te laten kiezen. Dit zou gelijkaardig kunnen gebeuren aan de keuze van het polling interval, eerder besproken in paragraaf 5.3.5.

6.2 Opvragen devices in subnetwerk met resource directory

Eerder werd al uitgelegd hoe resource discovery in zijn werk gaat (Zie paragraaf 3.3.2). Men kan dit principe doortrekken op subnetwerkniveau. Wanneer op een subnetwerk een resource directory voorzien is kunnen embedded devices er hun well-known/core's in plaatsen. De module zou dan de gebruiker een lijst kunnen presenteren die alle aanwezige devices in het subnetwerk opsomt, samen met de aangesloten resources. Men zou ook hier weer modulair kunnen werken en de devices voorstellen als instanties van het content type CoAP device.

Nog een ander mogelijk alternatief dat overwogen werd is het sturen van een broadcast op het subnetwerk. Deze broadcast bevat dan een GET request die de well-known/core opvraagt van elk embedded device in het subnetwerk. Het nadeel bij deze benadering is dat een broadcast zeer belastend is voor het subnetwerk. Bovendien is het niet de bedoeling dat als een gebruiker geïnteresseerd is in een ander subnetwerk, dat die belasting zomaar kan worden uitgevoerd. Wanneer men echter gebruik maakt van een resource directory kan men bovendien beslissen welke embedded devices publiek worden gemaakt, wat de beveiliging en belasting van het subnetwerk ten goede komt.

6.3 Conditional observe

Het principe van een conditional observe is een uitbreiding van de standaard CoAP observe. Het werd mede ontwikkeld door iMinds en wordt omschreven in een aparte draft, namelijk de CoAP Conditional Observe draft (huidig versie 3) [27].

Een conditional observe werkt net als een gewone CoAP observe met dat verschil dat een waarde pas naar de client wordt opgestuurd wanneer de waarde aan een bepaalde voorwaarde voldoet. Dit kan bijvoorbeeld een temperatuur zijn waarvan je pas op de hoogte wilt gesteld worden wanneer die hoger wordt dan 20 graden Celsius. Voor de conditional observe wordt optie nummer 18 gebruikt. Deze optie moet steeds vergezeld worden van een gewone observe optie (nr. 6) aangezien deze er een extensie van is.

Type	C/E	Name	Data type	Length	Default
18	E	Condition	uint	1-5 B	(none)

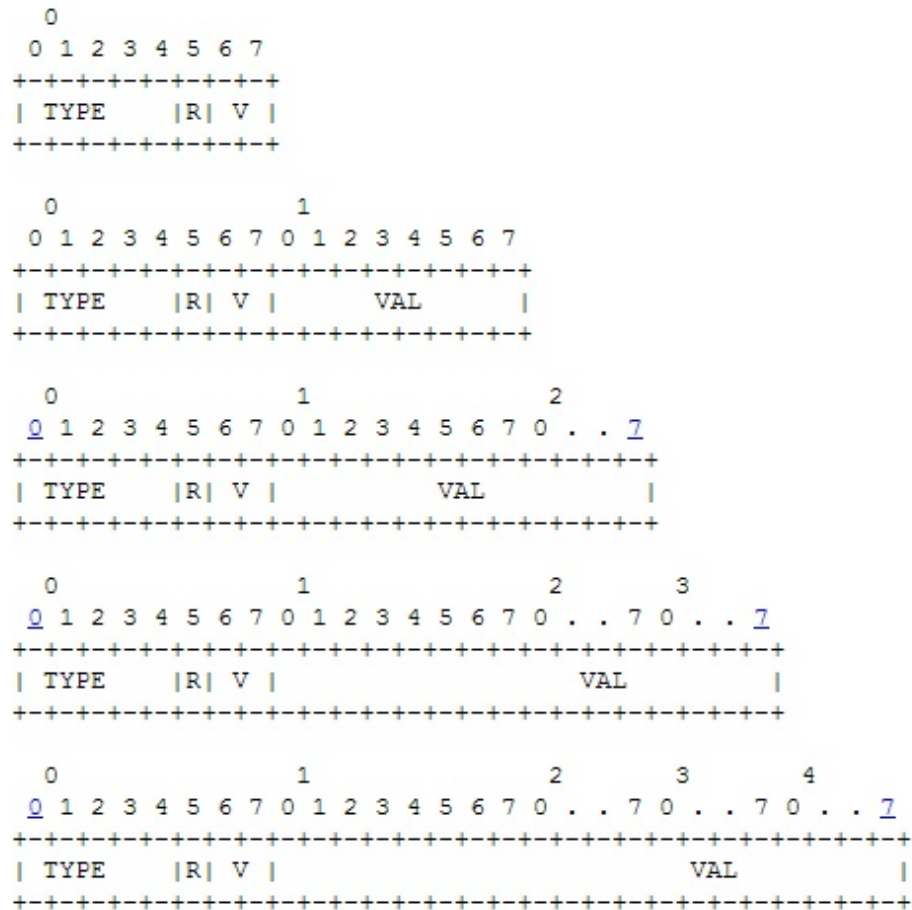
Figuur 6.1: Conditional observe optie (Option Delta 18)

De waarde kan variëren in lengte van één tot vijf bytes en bestaat uit de volgende onderdelen:

- TYPE: Beschrijft het type van de voorwaarde, bijvoorbeeld groter dan, kleiner dan, is gelijk aan,...
- R: In een request duidt deze bit aan of de client de notificaties als CON (1) of NON (0) verkiest. In een response duidt deze bit aan of de server bereid is om in te gaan op het

verzoek van de client om het betreffende soort berichten te sturen.

- V: Deze twee bits duiden aan wat het type van de voorwaarde is (Integer, tijdsduur in seconden of float).
- VAL: De waarde van de voorwaarde, de lengte hiervan kan variëren van één tot vier bytes.



Figuur 6.2: Conditional observe optie formaat

6.3.1 Keep-alive

Men kan gebruik maken van de Keep-alive optie om er zeker van te zijn dat de client nog deel uitmaakt van de lijst van observers. Het betreft hier optie 30.

Wanneer een client een Keep-alive optie meestuurt, vraagt die aan de server te bevestigen dat de client nog tot de lijst met observers behoort. En dit telkens wanneer een bepaald interval,

Type	C/E	Name	Format	Length	Default
30	E	Keep-alive	Duration in s	1 B	(none)

Figuur 6.3: De Keep-alive optie met Option Delta 30

meegegeven door de client in de optie, verstrijkt en er in dat interval geen notificaties of enkel NON-berichten ontvangen zijn. De server stuurt dan een leeg bericht op, de voorwaarde werd immers niet voldaan.

6.4 Custom Entity

We gebruiken de Entity API al voor manipulatie van content. Wat we er nog mee mogelijk is, is het ontwerpen van een eigen entity. Dit is toepasbaar op de waarden van resources. Momenteel worden waarden opgeslaan in de tabel `coap_resource_values`. Deze tabel wordt bij installatie aangemaakt en het manipuleren ervan wordt door onze eigen code afgehandeld. Als we een entity `coap_resource_value` maken, worden de waarden nog steeds in dezelfde tabel opgeslaan maar kunnen we de manipulatie ervan laten gebeuren door de functies die de Entity API aanbiedt. Een bijkomend voordeel is dat we custom views kunnen maken van entities. Gebruikers kunnen dan zelf custom views van waarden aanmaken. Een gebruiker kan dus bijvoorbeeld alle waarden van 5 mei tot 5 juni opvragen.

Een nuttig voorbeeld van het aanmaken van een eigen entity in code vind je in de module `Model Entities` [18].

Een bijkomende uitbreiding is het gebruik van de module `Entity Reference` [17]. Omdat we zelf een tabel creëren zonder aan Drupal te zeggen dat deze een speciale betekenis heeft, staan we zelf in voor de visualisatie van de waarden. Maar door een eigen entity te maken kunnen we de waarden weergeven door gebruik te maken van een nieuw veld dat geïntroduceerd wordt door de `Entity Reference`-module.

6.5 Interface Description

Het attribuut `if` (interface description) van het CoRE Link Format kan info bevatten over welke methodes deze resource ondersteund. Momenteel wordt deze info opgeslaan maar nog niet ge-

bruikt. Deze informatie kan gebruikt worden om de methodes (GET, PUT, POST en DELETE) niet voor alle resources beschikbaar te laten zijn. De verschillende waarden en hun betekenis die het attribuut kan aannemen vind je in de CoRE Interfaces draft [28].

6.6 View Modes

De content die we aanbieden wordt op elke pagina op dezelfde manier getoond. Door gebruik te maken van view modes kunnen we hier verandering in brengen. Wanneer content van het type `coap_resource` getoond wordt, kan je er verschillende functies op uitvoeren en zie je een historytabel. Maar soms zou het handig zijn als je enkel de historytabel ziet. Een complete tutorial met uitleg vind je online [22].

6.7 Configuratie op maat

Bij installatie wordt een pagina voor configuratie voorzien. Deze kan je bereiken door eerst op 'Configuration' te klikken en dan op 'CoAP resource settings'. Enige configuratieinstellingen komen hier te staan. Om de pagina die getoond wordt aan passen moet je de functie `coap_resource_admin_settings()` in `coap_resource.module` aanpassen.

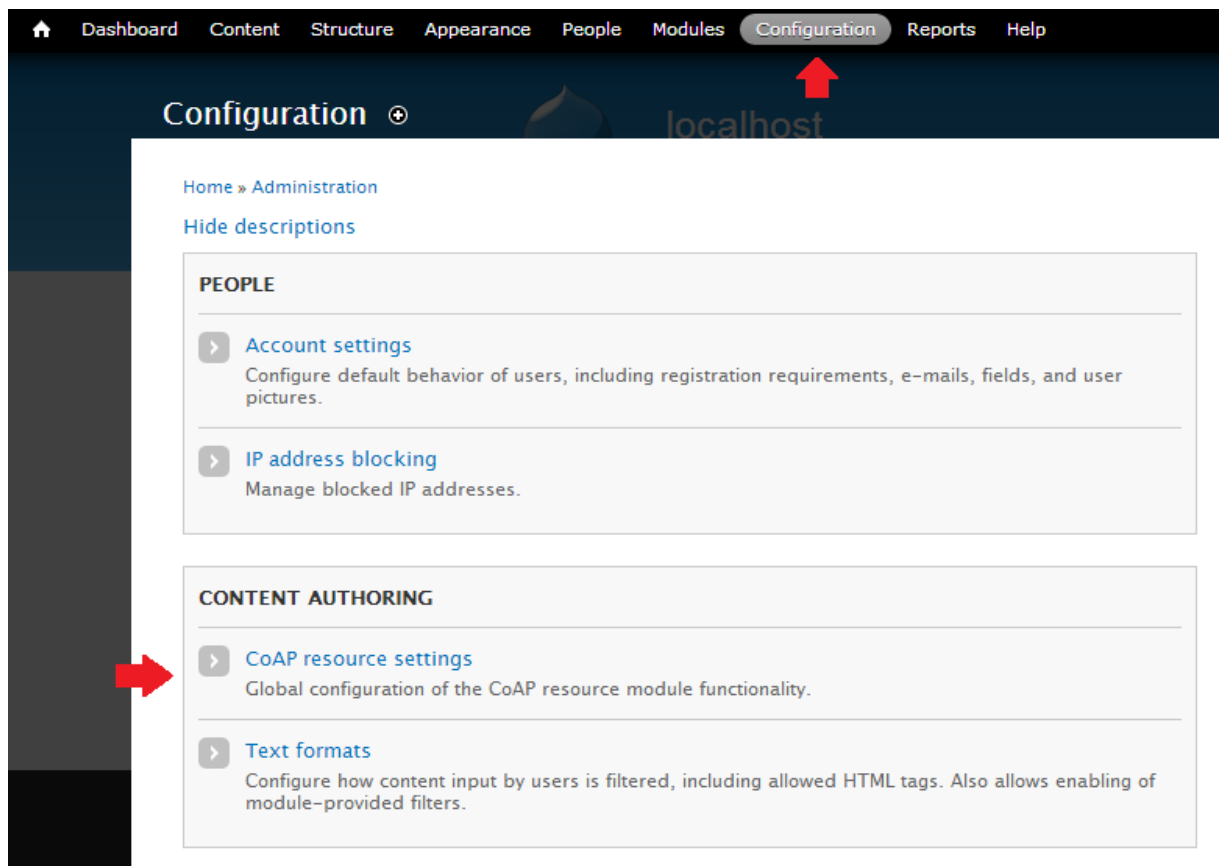
6.8 Help

Een standaard hulppagina is voorzien, deze kan opgevuld worden met de handleiding.

Er kan ook gebruik gemaakt worden van de Advanced Helpmodule [13]. Wanneer deze module geëabled is, kan je helppagina's opslaan in HTML-formaat en deze in je moduledirectory zetten. Deze module maakt ook het gebruik van popups mogelijk en laat de administrator van de website beslissen voor wie de hulp beschikbaar moet zijn. We laten het aan de lezer over om alle mogelijkheden van deze module te bekijken.

6.9 DNS

Het programma werkt enkel met IP-adressen. Door gebruik te maken van de PHP-functies `gethostbyaddr(string $ip_addr)[23]` en `gethostbyname(string $hostname)[24]` kunnen hostnamen gebruikt worden i.p.v. hun respectievelijk IP-adres.



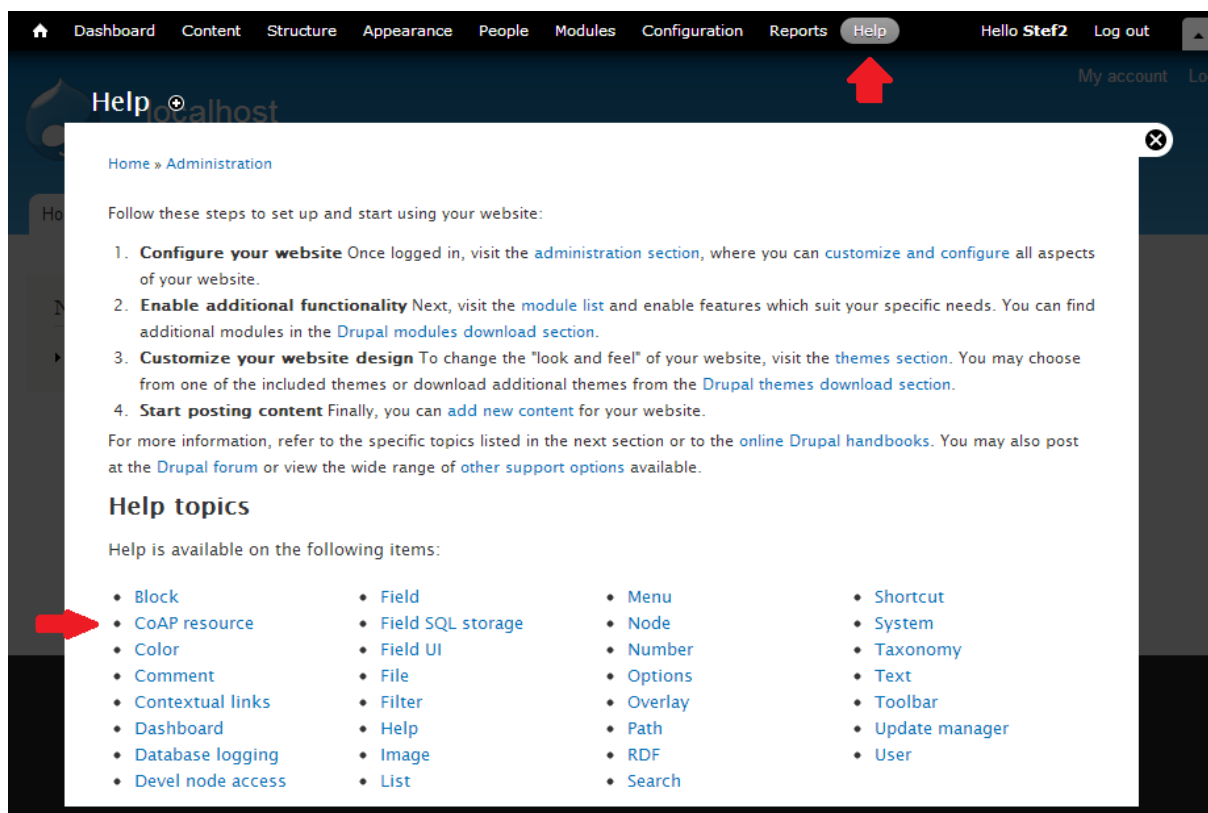
Figuur 6.4: Navigatie naar de configuratiepagina

6.10 Block Options

Voor optie 28 (Size) en 27 (Block1) bieden we nog geen ondersteuning, momenteel worden ze genegeerd. Block1 hebben we reeds besproken in 3.2.3. De Size-optie wordt voor meerdere dingen gebruikt, maar ze hebben allemaal een verband met een schatting van de grootte van de resource representatie:

- In een request: om aan de server te vragen of hij een schatting meestuur met zijn response. Hier moet als waarde 0 gebruikt worden.
- In een response met een Block2-optie: om de schatting van de server aan te geven.
- In een response met een Block1-optie: om de schatting van de client aan te geven.

De client of server kan aan de hand van de schatting beslissen om grotere of kleinere blocks door te sturen. Deze optie is niet verplicht te ondersteunen dus moet er rekening gehouden worden met dat de server of client deze optie negeert.



Figuur 6.5: Navigatie naar de hulppagina

6.11 Anonieme gebruikers

Momenteel worden anonieme gebruikers niet meer ondersteund. Er is wel een analyse uitgevoerd hoe ze best geïmplementeerd worden. Voor anonieme gebruikers is het beter om zelf geen gegevens naar de databank te schrijven. Dit om ervoor te zorgen dat de databank niet geflood wordt.

Anonieme gebruikers hebben als User ID (uid) het getal 0. Anders dan gewone gebruikers die een uniek uid hebben kan je anonieme gebruikers hier niet op onderscheiden. Gebruikers hebben ook een Session ID (sid) dat wel uniek is voor alle gebruikers. Nu moeten we de gegevens van de anonieme gebruiker bijhouden op een plaats die overal toegankelijk is maar dit mag niet de databank zijn. Daarom wordt er gebruik gemaakt van de sessievariabele [12] `$_SESSION`. Deze variabele is een PHP-tabel en het ligt voor de hand deze te indexeren op de sid. Alle gegevens worden nu best opgeslaan en aangesproken op volgende manier: `$_SESSION[$sid]` met `$sid` een variabele die de sid van de gebruiker bevat.

Bibliografie

- [1] <https://addons.mozilla.org/en-US/firefox/addon/copper-270430/>, 21 mei 2013
- [2] http://api.drupal.org/api/drupal/developer!topics!forms_api_reference.html/7, 18 februari 2013
- [3] http://api.drupal.org/api/drupal/modules!system!system.api.php/function/hook_enable/7, 18 februari 2013
- [4] http://api.drupal.org/api/drupal/modules!system!system.api.php/function/hook_install/7, 18 februari 2013
- [5] http://api.drupal.org/api/drupal/modules!system!system.api.php/function/hook_schema/7, 18 februari 2013
- [6] http://api.drupal.org/api/drupal/modules!system!theme.api.php/function/hook_preprocess_HOOK/7, 14 mei 2013
- [7] <http://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-core-coap/>, 21 mei 2013
- [8] <http://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-core-observe/>, 21 mei 2013
- [9] <https://developers.google.com/chart/>, 27 mei 2013
- [10] <http://developer.yahoo.com/weather/>, 18 februari 2013
- [11] <http://drupal.org/node/1261744>, 27 mei 2013
- [12] <http://drupal.org/node/33513>, 27 mei 2013
- [13] http://drupal.org/project/advanced_help, 27 mei 2013
- [14] http://drupal.org/project/background_process, 19 februari 2013

- [15] http://drupal.org/project/block_refresh, 5 maart 2013
- [16] <http://drupal.org/project/entity>, 24 april 2013
- [17] <http://drupal.org/project/entityreference>, 27 mei 2013
- [18] <http://drupal.org/project/model>, 27 mei 2013
- [19] <http://drupal.org/project/progress>, 19 februari 2013
- [20] <http://drupal.org/project/references>, 24 april 2013
- [21] <http://drupal.org/project/views>, 27 mei 2013
- [22] pingv.com/blog/custom-drupal-7-view-modes-different-ways-see-your-content, 27 mei 2013
- [23] <http://php.net/manual/en/function.gethostbyaddr.php>, 27 mei 2013
- [24] <http://php.net/manual/en/function.gethostbyname.php>, 27 mei 2013
- [25] <http://stackoverflow.com/questions/12683530/origin-http-localhost-is-not-allowed-by-access-control-allow-origin>, 17 maart 2013
- [26] <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-core-block-11>, 21 mei 2013
- [27] <http://tools.ietf.org/html/draft-li-core-conditional-observe-03>, 21 mei 2013
- [28] <http://tools.ietf.org/html/draft-shelby-core-interfaces-05>, 21 mei 2013
- [29] <http://tools.ietf.org/html/rfc5988>, 27 mei 2013
- [30] <http://tools.ietf.org/html/rfc6690>, 21 mei 2013
- [31] <http://www.metachunk.com/blog/adding-module-path-drupal-7-theme-registry>, 14 mei 2013
- [32] <http://www.wireshark.org>, 27 mei 2013
- [33] Melanon B., Luisi J., Ngyesi K., Anderson G., Somers B., Corlosquet S., Freudenberg S., Lauer M., Charleval E., Lortan F., Nordin D., Szrama R., Stewart S., Strawn J., Travis B., Hakimzadeh D., Scavarda A., Albala A., Micka A., Douglass R., Monks R., Scholten R., Wolanin P., VanValkenburgh K., Stout G., Dolin K, Mars F., Boyer S., Gifford M., Sarahe C. (2011). *The Definite Guide to Drupal 7*. APress.

[34] Tomlinson T. (Juni, 2010) *Beginning Drupal 7*. APress.

[35] Travis B. (Februari, 2011) *Pro Drupal 7 for Windows developers*. APress.

Lijst van figuren

1.1	Internet of Things	1
2.1	Drupallogo	6
2.2	Wat is Drupal?	7
2.3	Basiswebsite van Drupal met Bartik-theme	8
2.4	Grafische weergave van hoe Drupal content aanbiedt.	10
2.5	Organisatie van Drupalmodules	13
2.6	Implementatie van hook_node_view door de module coap_resource	14
2.7	Pagina renderen in Drupal	15
2.8	Weermodule	18
3.1	CoAP-lagen (CoAP 16 draft)	21
3.2	Berichtformaat (CoAP 16 draft)	21
3.3	CoAP-optie (CoAP draft 16)	24
3.4	HTTP Message Format	25
3.5	Berichtuitwisseling (CoAP 16 draft)	26
3.6	Twee GET-requests met piggy-backed responses (CoAP 16 draft)	27
3.7	GET-request met seperate response (CoAP 16 draft)	27
3.8	Blokoptiewaarde - bytes en bits worden aangegeven bovenaan de figuur	28
5.1	Architectuur van de CoAP resource module in Drupal	43
5.2	EER-diagram van de door ons toegevoegde tabellen.	50
5.3	Content toevoegen door op 'Add content' te klikken.	53
5.4	Adding content of content type CoAP resource	53
5.5	Visuele representatie van het content type CoAP resource.	54
5.6	Adding content of content type CoAP device	55

5.7	Visuele representatie van het content type CoAP device.	55
5.8	Temperatuurmodule met HTTP/COAP-proxy	58
5.9	Block met HTML-formulieren die de gebruiker toelaat meerdere resources met één block te bevragen.	61
5.10	Alle vier de REST methodes zijn nu ondersteund.	63
5.11	Opsomming van resources aan de hand van resource discovery.	64
5.12	Mechanisme om fouten te tonen aan de gebruiker.	70
6.1	Conditional observe optie (Option Delta 18)	72
6.2	Conditional observe optie formaat	73
6.3	De Keep-alive optie met Option Delta 30	74
6.4	Navigatie naar de configuratiepagina	76
6.5	Navigatie naar de hulppagina	77