

Generera grafiska användargränssnitt baserade på JSON Scheman

Julius Recep Colliander Celik

23 augusti 2018

Sammanfattning

Det saknas en bra lösning för att automatiskt generera inmatningsformulär för datamanipulation. Därför måste grafiska användargränssnitt skapas utifrån förutbestämda kända faktorer om datan som det grafiska användargränssnittet ska baseras på. Det här arbetet använder JSON Schema för att beskriva data som kan manipuleras och använder det för att automatiskt generera grafiska användargränssnitt. Genom att använda samma modell kan grafiska användargränssnitt genereras generellt utan att i förväg ha information om datan som det grafiska användargränssnittet ska baseras på.

Abstract

There does not exist a good solution to automatically generate input forms for data manipulation. Therefore user interfaces has to be created considering predetermined known factors about the data that the user interface will be based upon. This project uses JSON Schema to describe data that can be manipulated and uses that to automatically generate user interfaces. By using the same model unspecific user interfaces can be generated without prior information about the data that the user interface will be based upon.

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	1
1.1.1	JSON och JSON Schema	1
1.1.2	Mimer SoftRadio	2
1.2	Problemområde	2
1.3	Problem	3
1.4	Syfte	3
1.5	Mål	3
1.5.1	Samhällsnytta, Etik och Hållbarhet	4
1.6	Risker	4
1.7	Metodval	4
1.8	Avgränsningar	5
1.9	Disposition	5
2	Bakgrund	7
2.1	JSON	7
2.2	JSON i webbkommunikation	8
2.3	JSON Schema	9
2.3.1	JSON Schema Core	9
2.3.2	JSON Schema Validation	9
2.3.3	JSON Schema Hyper-Schema	10
2.3.4	Kontroversiell representation av flyttal i JSON Schema	10
2.4	Användningsområden för JSON Schema	10
2.4.1	Generering av scheman	11
2.4.2	Parsning av JSON Scheman	12
2.4.3	Tidigare försök av generering av grafiska användargränssnitt baserade på JSON Scheman	12
3	Metod	14
3.1	Forskningsmetod	14
3.2	Forskningsstrategi	15
3.3	Systemet att förhålla sig till	15
3.4	Utvärdering av kända verktyg	16
3.4.1	Krav för verktyg som genererar eller parsar JSON Scheman	16
3.4.2	Krav för verktyg som genererar ett grafiskt användargränssnitt utifrån ett JSON Schema	16
3.5	Skapande av systemet	17

3.6	Utvärdering av arbetet	17
4	Utvärdering av befintliga verktyg	18
4.1	Implementationer som utesluts ur rapporten	18
4.2	Generering av scheman från JSON	19
4.3	Generering av scheman från statiska datatyper i statisk typade programmeringsspråk	21
4.4	Andra genererare av scheman	21
4.5	Parsning av JSON Scheman	22
4.6	Användargränssnitt genererade baserat på JSON Scheman	23
4.7	Fördjupad utvärdering av grafiska användargränssnitt baserade på JSON Scheman	24
5	Implementering	28
5.1	Systemet i helhet	28
5.2	Generering av JSON Schema i Delphi	29
5.3	Parsningen av JSON Schema i Delphi	32
5.4	Representation av data i användargränssnittet	33
5.4.1	Det generella grafiska användargränssnittet	33
5.4.2	Hur formuläret förhindrar fel	35
5.4.3	Textsträngar och <i>format</i> i det grafiska användargränssnittet	36
5.4.4	Nyckelordet <i>format</i>	39
5.4.5	Booleska värden och heltal i det grafiska användargränssnittet	41
5.4.6	Flervalsalternativ och <i>enum</i> i det grafiska användargränssnittet	42
6	Diskussion, slutsats och fortsatt arbete	46
6.1	Att använda JSON Schema för att generera grafiska användargränssnitt	46
6.2	Fortsatt arbete	47
6.3	Slutsats	48
	Litteratur	49
A	API-beskrivning	53

Kapitel 1

Introduktion

Examensarbetet handlar om att annotera manipulerbar data, och sedan automatiskt generera ett grafiskt användargränssnitt för att interagera med datan. Vad jag känner till är detta det första publikt publicerade försöket av att generera ett grafiskt användargränssnitt från JSON Schema, som var implementerat i något annat programmeringsspråk än HTML, CSS eller JavaScript. Detta är relevant då JSON Scheman utvecklats med hänsyn till JSON och JavaScript, samtidigt som många andra språk och miljöer skulle kunna dra nytta av funktionaliteten som JSON Schema kan erbjuda. Det är viktigt att JSON Schema fungerar bra med andra språk än JavaScript för att det ska vara ett bra och användbart verktyg.

1.1 Bakgrund

Det här kapitlet beskriver bakgrunden till varför och i vilka ämnesområden arbetet utfördes, samt för att ge en förståelse för resten av introduktionen. JSON och JSON Schema utgör en stor del av teknikerna som arbetet undersökte. LS Elektronik AB (*LSE*) är företaget arbetet utfördes hos, och Mimer SoftRadio är systemet som arbetet utvecklades mot.

1.1.1 JSON och JSON Schema

JavaScript Object Notation (*JSON*) är ett textbaserat dataformat för att utbyta data mellan webbtjänster. Till skillnad mot andra alternativ, som exempelvis XML, är det både läsbart för människor och datorer, samtidigt som det är väldigt kompakt, vilket är en anledning till att det är ett av de mest populäraste dataformaten för datautbyte mellan webbtjänster [1]. JSON utvecklades med inspiration till språket ECMAScript (*JavaScript*) men är samtidigt oberoende av programmeringsspråk, vilket lett till att implementationer för att generera och parsas JSON finns tillgängliga i många olika programmeringsspråk [2]. ECMAScript är ett språk som stöds av alla moderna webbläsare, och har därför blivit en kärnteknik för webben.

Trots att JSON är det populäraste dataformatet för datautbyte mellan webbtjänster saknas det ett väletablerat standardiserat ramverk för metadata-definition [1]. En väldigt lovande formell standard är JSON Schema, vilket är ett ramverk som fortfarande utvecklas av Internet Engineering Task Force (*IETF*). JSON Schema är ett ramverk för att beskriva och annotera JSON-data [3]. Kapitel 2 beskriver JSON och JSON Schema i mer detalj.

1.1.2 Mimer SoftRadio

Arbetet utfördes hos LSE, som är ett teknikföretag, som utvecklar och tillverkar elektroniska produkter [4]. LSE erbjuder bland annat ett radiosystem som heter Mimer SoftRadio vilket kan användas för att ansluta ett flertal annars inkompatibla radioenheter i ett och samma system, samt fjärrstyra radioenheterna från en persondator med ett klientprogram. I resten av rapporten kan datorn med klientprogrammet kallas operatörsdator, där användaren kan kallas operatör.

Mimer SoftRadio *Mimer* är ett program med väldigt många möjliga inställningar. I många fall är dessa inställningar för komplexa för de vanliga operatörerna att redigera själva, så därför brukar vissa kunder låsa redigeringsmöjligheterna, och bara tillåta vissa administratörer att ställa in alla inställningar på rätt sätt. Det finns också kundfall där flera operatörer använder samma dator, vid olika tidpunkter. Ett förekommande kundfall är att en operatör jobbar dagtid med att leda och organisera dagsarbete, medan en annan operatör tar över nattsiftet för att övervaka många fler radioenheter.

För att förenkla dessa två kundfall påbörjade LSE utvecklingen av funktionalitet som skulle erbjuda användare att spara uppsättningar av inställningar i olika *profiler*. Det skulle gå att enkelt byta mellan flera förinställda konfigurationer av Mimer. För att konfigurera dessa profiler skapades ett administratörsprogram, som skulle kunna fjärrkonfigurera profilerna hos operatörsdatorerna. Fjärrstyrningen skulle underlätta administratörer att ställa in profiler på flera datorer samtidigt, som sannolikt skulle innehålla liknande inställningar.

1.2 Problemområde

Systemet för att konfigurera profiler (se kapitel 1.1.2) bygger på att alla operatörsdatorer exponerar ett API mot en server, över en TCP-port. Administratörsprogrammet ska erbjuda ett grafiskt användargränssnitt för att konfigurera profilinställningar, för att sedan kommunicera ändringarna till operatörsdatorerna. I resten av rapporten kan operatörsdatorerna och administratörsprogrammet kallas server respektive klient. Administrationsprogrammet skrivs som en skrivbordsapplikation till Windows, med språket Delphi.

Kommunikationsprotokollet är ett eget skapat protokoll som bygger på att skicka JSON-objekt via TCP. För en beskrivning av JSON, se kapitel 2.1. För en mer utförlig beskrivning av kommunikationsprotokollet se bilaga A. Problemet som LSE har inför utvecklandet av användarprofilerna är skapandet av ett grafiskt användargränssnitt på administratörsprogrammet. Olika operatörsdatorer, hos olika kunder, kan ha olika versioner av Mimer, med olika funktionalitet tillgänglig, och därmed olika uppsättningar konfigurerbara inställningar.

Det vore orimligt kostsamt för LSE att skapa olika administratörsprogram för varje version av Mimer, då både Mimer ändras med tiden, samt att olika kunder köper till extra funktionalitet. Samtidigt måste det grafiska användargränssnittet på administratörsprogrammet anpassas så att det ska vara tydligt vad en administratör kan konfigurera. Helst ska ett administratörsprogram fungera bra med framtida versioner av Mimer, utan några eller utan stora justeringar av programmet. LSE vill helt enkelt att servern kommunicerar tillgängliga inställningar till klienten, så att klienten sen ska kunna anpassa sitt grafiska användargränssnitt, och det ska ske på ett så tillräckligt generellt sätt att administratörsprogrammet är framtidssäkert för framtida versioner av Mimer.

1.3 Problem

Vilka svårigheter finns det med att använda JSON Schema för att automatisk generera ett grafiskt användargränssnitt? Är det möjligt? Hur generella JSON Scheman går det att använda sig av?

Det finns även mer praktiska problem som uppstår vid konstruktionen av arkitekturen för systemet som ska utvecklas. De är:

- Hur ska användarinteraktion integreras i detta system, så att interaktion faktiskt manipulerar data?
- Hur ska schemat som formuläret baseras på, genereras?
- Hur ska schemat parsas, tolkas och sedan representeras i språket Delphi?
- Hur ska schemats representation tillsammans med data presenteras i ett grafiskt användargränssnitt?

1.4 Syfte

Syftet med rapporten är att systematiskt analysera problemen med att försöka skapa automatiskt genererade grafiska användargränssnitt utifrån olika JSON Scheman. Syftet med arbetet är att med hjälp av JSON Scheman skapa ett dynamiskt grafiskt användargränssnitt som anpassade sig efter syfte. Utan att uppdatera administratörsklienten ska samma administratörsklient kunna konfigurera inställningar hos olika datorer med olika versioner av Mimer, och därmed olika uppsättningar konfigurerbara inställningar. Det skulle inte bara innebära stark kompatibilitet utan också framtidssäkerhet hos LSEs produkter.

1.5 Mål

Målet med arbetet är att kunna skapa en grund för användare av Mimer att enkelt kunna konfigurera inställningar, oavsett version eller uppsättning extra funktionalitet. Det skulle kunna

innebära att Mimer blir ett bättre verktyg för många potentiella kunder. Samtidigt finns det ett mål med att utforska samt att metodiskt utvärdera och beskriva hur grafiska användargränssnitt för att redigera data, automatiskt kan genereras.

1.5.1 Samhällsnytta, Etik och Hållbarhet

Ur ett samhällsnyttigt och etiskt perspektiv kan en implementation av fjärrstyrda användarprofiler i Mimer SoftRadio innebära effektivisering av samhällsnyttiga funktioner. Mimer användas bland annat av polis, ambulans, brandkår, kollektivtrafik och internationella flygplatser. Fjärrstyrda användarprofiler skulle hos befintliga kunder i många fall innebära effektivare arbete. Som följd av detta går det att argumentera för att det leder till effektivare kommunikation för organisationer som använder Mimer. Då dessa organisationer arbetar med säkerhet i samhället, räddandet av liv, och upprätthållandet av ett effektivt samhälle, lider hela samhället när dessa organisationer inte kan kommunicera ordentligt. Det är därför väldigt etiskt försvarbart att arbeta med att effektivisera arbetet hos dessa organisationer.

1.6 Risker

En ekonomisk risk är risken som alltid finns vid all hantering av data. Om någon datahantering skulle bli fel, och data skulle försvinna, skrivas över eller bli korrupt, så måste kunder tillägna tid åt att återskapa datan. Därför är det viktigt att implementera ett robust system som är delvis feltolerant. Ingen data som kommer hanteras kommer vara kritisk, och kommer vara relativt enkel att återskapa. Problemet blir att det skulle innebära en kostnad att behöva skapa profiler igen och ställa in inställningar igen, och utöver det så skulle korrupta filer till och med kunna innebära att Mimer SoftRadio inte går att använda alls.

1.7 Metodval

Arbetet var av kvalitativ karaktär. Arbetet handlade inte om att bekräfta någon teori utan handlade mer om att utforska ett ämne och utforska möjligheterna med en ny utvecklande teknik. Det saknas stora datamängder som krävs för att genomföra statistisk analys, som är kärnan av kvantitativa studier. Dessutom är JSON Schema som ämne fortfarande outforskat, och speciellt att använda JSON Scheman för att generera grafiska användargränssnitt för att manipulera datan som schemat beskriver.

Problemet som arbetet grundade sig på var en fallstudie. Ett specifikt problem skulle lösas utifrån vissa krav och en ny, oprövad och ofärdig teknik skulle användas för att lösa problemet. De två forskningsmetoderna som skulle kunna passa bra till arbetet är *Fundamental Research* och *Applied Research*. *Fundamental Research* fokuserar på nya fundamentala principer och att testa nya teorier. Det används för all sorts forskning för att skapa nya innovationer, principer och teorier [5].

Applied Research handlar om att besvara specifika frågeställningar och att lösa kända och praktiska problem [5]. En grov jämförelse går att göra där *Fundamental Research* bryr sig om generella lösningar medan *Applied Research* handlar om specifika lösningar, men där båda metoderna resulterar i nyskapande teknik.

Ämnet kring JSON Scheman med inriktning på dess applicering på grafiska användargränssnitt är till stor del utforskat i den akademiska världen; Dock finns det icke-vetenskapliga verktyg som använt JSON Schema för att skapa grafiska användargränssnitt med varierande kvalitet på resultat och ofta bristande dokumentation (se kapitel 2.4.3 och 4.6). Då arbetet är väldigt tidigt i att utforska ämnet vetenskapligt, skulle *Fundamental Research* kunna vara rätt forskningsmetod men *Applied Research* går också att använda; Speciellt med tanke på att ämnet inte är helt nytt. Då lösningen som utvecklades ansågs vara väldigt specifik och inte tillräckligt generell så valdes *Applied Research* som forskningsmetod.

1.8 Avgränsningar

En viktig avgränsning är att rapporten endast väldigt ytligt undersöker olika grafiska användargränssnitt, och användbarheten hos dem. Arbetet handlar inte primärt om användbarhet, utan arbetet handlar i större grad om hur JSON Schema kan automatisera skapandet av användbara gränssnitt. Med hjälp av kunskapen som arbetet presenterar kan användbara grafiska användargränssnitt enklare skapas.

Ett annat ämne som också är viktigt är säkerhet av systemet som skapas. Säkerheten hos applikationen omfattas inte av arbetet, men det ignoreras samtidigt inte. Systemet som utvecklas för att utbyta JSON Scheman och JSON-data sker över en SSL-krypterad säker uppkoppling. Det här arbetet utvärderar inte säkerheten hos den uppkopplingen.

Att skapa ett användbart grafiskt användargränssnitt utifrån alla möjliga sorters JSON Scheman med samma verktyg omfattas inte av arbetet. Arbetet kommer utforska olika strategier och metoder för att arbeta med förutbestämda JSON Scheman. Dessutom kommer bara en delmängd av JSON Scheman att hanteras, och en färdig JSON Schema parser skapas och testas ej.

Validering av data är något som webbtjänster ofta måste ta hänsyn till. En klient kan annars skicka otillåten data till en webbserver och därför måste webbservern alltid validera data när den tar emot data, innan data används eller lagras. Ett stort användningsområde av JSON Schema är validering men det omfattas inte av arbetet. Valideringsdata i JSON Schema kommer endast användas för att extrapolera annoteringsinformation. Anledningen till att validering inte omfattas är att inmatningsdata valideras hos klienten, samt att både klienten och servern omfattas av arbetet. En till faktor är att användarna inte anses ha uppsåt att förstöra eller falsifiera data.

1.9 Disposition

Kapitel 2 presenterar den teoretiska bakgrunden. Kapitel 3 beskriver metodologin som valdes. Kapitel 4 presenterar och utvärderade kända implementationer som berörde liknande ämnesom-

råden som det här arbetet. Kapitel 5 redovisar hur systemet utvecklades, vilka val som togs, varför de valen togs samt diskuterar hur arbetet förhåller sig till tidigare implementationer av liknande projekt och verktyg. Kapitel 6 diskuterar hur bra JSON Schema är som verktyg för att annotera manipulerbar data, vilka utforskade intresseområden som skulle kunna behöva fortsatt arbete, samt utvärderar arbetets resultat.

Kapitel 2

Bakgrund

Det här kapitlet beskriver vad JSON och JSON Scheman är, samt hur de används. Kapitel 2.1 beskriver vad JSON är. Kapitel 2.2 beskriver hur JSON används för kommunikation mellan webbtjänster. Kapitel 2.3 beskriver JSON Scheman, vad de är och hur de är specificerade. Kapitel 2.4 diskuterar användningsområden av JSON Schema samt listar kända implementationer.

2.1 JSON

Detta kapitel är en sammanfattning av European Computer Manufacturers Associations (*ECMA*) specifikationsdokument för JSON syntaxen [2]. JSON är ett dataformat som erbjuder stöd för några enkla datatyper: textsträngar, siffror, tomt värde samt booleska värden, som presenteras i tabell 2.1. JSON erbjuder dessutom stöd för två komplexa datatyper vilket är vektorer (*array*), en ordnad lista av JSON-värden, samt objekt (*object*), vilket är en oordnad mängd av namn-värde-par (*properties*). Exempel på de två komplexa datatyperna visas i figur 2.1. Resten av rapporten kommer utbytbart använda JSON-värde, JSON-data, JSON-fil och JSON-dokument för att förklara en av de sex datatyperna som kan representeras med JSON. [2]

Med hjälp av att rekursivt använda *array* eller *object* går det att representera komplexa datastrukturer med hjälp av JSON. Det finns inga begränsningar i hur komplext datastrukturer kan representeras.

Tabell 2.1: De primitiva datatyperna i JSON

Datatyp	Namn i JSON och JavaScript	Exempel
Textsträng	String	<i>"hej värld"</i>
Siffra	Number	4
Tomt värde	Null	null
Booleskt värde	Boolean	false

```
[
  "hej värld",
  4,
  null,
  false
]
```

(a) Exempel på JSON-array

```
{
  "firstName": "Erik",
  "lastName": "Andersson",
  "age": 30,
  "human": true
}
```

(b) Exempel på JSON-object

Figur 2.1: De komplexa datatyperna i JSON

2.2 JSON i webbkommunikation

På grund av att JSON är kompakt, enkelt läsbart och har brett stöd hos många språk och implementationer, har JSON blivit väldigt utbredd bland webbtjänster. Figur 2.2 visar ett exempel på en hypotetiskt transaktion av data på webben. En hypotetisk förfrågan till en webbtjänst skulle kunna se ut som i Figur 2.2a, där en klient förfrågar om de nuvarande väderförhållandena i Stockholm i Sverige. Svaret från webbservern skulle kunna se ut som i Figur 2.2b där webbservern svarar att temperaturen är minus tre grader Celsius och att det snöar. Exemplet visar hur simpelt JSON som dataformat är att förstå, vilket delvis skulle kunna vara en förklaring för populariteten.

```
{
  "country": "Sweden",
  "city": "Stockholm"
}
```

(a) Exempel på förfrågan till webbserver

```
{
  "timestamp": "06/01/2018 10:45:08",
  "country": "Sweden",
  "city": "Stockholm",
  "weather": "Snowing",
  "temperature": -3
}
```

(b) Exempel på svar på förfrågan från webbserver

Figur 2.2: Exempel på datatransaktion mellan webbklient och webbserver

2.3 JSON Schema

JSON Schema är ett ramverk för att förklara hur JSON-värden kan se ut [3]. JSON Schema specificerar regler som kan användas för att antingen bestämma om befintliga JSON värden är giltiga, eller för att i förväg beskriva hur giltiga värden får se ut. Objektet i figur 2.1b skulle kunna valideras enligt JSON Schemat i figur 2.3. Den senaste fastslagna versionen (*Draft 7*) [6] av ramverket bygger på tre dokument: *Core* [3], *Validation* [7] samt *Hyper-Schema* [8].

2.3.1 JSON Schema Core

JSON Schema Core täcker grunderna för JSON Schema. Dokumentet fastställer exempelvis mediatypen som borde användas för att skicka JSON Scheman över HTTP, förhållandet mellan flera JSON Scheman, samt hur heltal borde behandlas. Att JSON Scheman själva är JSON-dokument bestäms också. Dokumentet fastställer också att validering och annotering av JSON-värden ska ske enligt dokumentet draft-handrews-json-schema-validation-01 (*Validation*), samt att draft-handrews-json-schema-hyperschema-01 (*Hyper-Schema*) behandlar reglerna kring att beskriva hypertextstrukturen hos JSON-dokument. [3]

2.3.2 JSON Schema Validation

JSON Schema Validation beskriver tre saker: hur man beskriver ett JSON-dokument, hur man ger tips åt användargränssnitt för att jobba med JSON-dokument samt hur man kan beskriva påståenden om ett dokumentts validitet. Förenklat beskriver det här dokumentet strukturen hos ett JSON Schema, med beskrivningar av nästan alla nyckelord. Utöver att beskriva hur JSON-dokument ska valideras, presenteras annoteringsnyckelord som *title* och *description*, där *title* är en kort förklaring för JSON värdet den validerar, och *description* är en längre förklaring. [7]

```
{
  "type": "object",
  "required": ["firstName", "age"],
  "properties": {
    "firstName": { "type": "string" },
    "lastName": { "type": "string" },
    "age": { "type": "integer" },
    "human": { "type": "boolean" }
  }
}
```

Figur 2.3: Exempel på enkelt JSON Schema

2.3.3 JSON Schema Hyper-Schema

JSON Schema utvecklas till stor del för användandet av JSON Scheman i webbtjänster. Därför beskriver det tredje dokumentet, JSON Schema Hyper-Schema, hur resurser kan manipuleras och interageras med över hypermediamiljöer som HTTP. JSON Schema Validation skulle kunna beskriva hur ett API anrop ska hanteras och vad som förväntas från förfrågningar och svar på dem. JSON Schema Hyper-Schema kan då användas för att beskriva ett helt API och hur de olika anropen och resurserna är relaterade till varandra. [8]

2.3.4 Kontroversiell representation av flyttal i JSON Schema

JSON Schema stöder två nyckelord för siffror: *number*, och *integer*, vilket motsvarar siffror respektive heltal [9]. Nyckelordet *number* betyder inte nödvändigtvis flyttal då JSON och JavaScript inte skiljer på heltal och flyttal, vilket en betydligt stor andel programmeringsspråk gör som Python, Ruby, C, C++, C#, Java, Delphi med många fler [2, 10–18]. JSON Schema definierar ett heltal som alla siffror med en decimaldel som är lika med noll [9]. Det skulle betyda att både talet 1 och 1.0 skulle tolkas som ett heltal. Många JSON-parsers i många språk tolkar 1.0 som ett flyttal vilket gör det svårt att kontrollera om en siffra är ett heltal. Flera implementationer av JSON Schema parsers som exempelvis Python-baserade jsonschema tolkar 1.0 som ett flyttal, trots att JSON Schema specificerar motsatsen [19].

Det finns andra oklarheter kring flyttal, som att det är svårt att validera om ett flyttal är en multipel av ett annat tal, då få språk erbjuder exakt noggrannhet för flyttal [20]. Vad jag känner till finns det inga språk som erbjuder exakt noggrannhet för flyttal. Vissa föreslår att flyttal borde hanteras som textsträngar med nyckelordet *format*, men då krävs en större bredd av valideringstermer för att erbjuda samma funktionalitet som det redan finns till datatyper av typen *number* [21, 22].

2.4 Användningsområden för JSON Schema

Hilaiel delar upp informationen som JSON Schema beskriver i tre typer [23] vilket han kallar:

- *Data structure (for documentation and validation purposes)*
- *Storage attributes (information pertinent to tools that wish to persist JSON data)*
- *Interaction Control (providing hints on how to render a UI where data can be manipulated)*

Data structure handlar om uppsättningen regler som kan användas för att validera om ett JSON-dokument upprätthåller en förutbestämd korrekt struktur. Vissa av de reglerna kan användas för att extrapolera information om vilken sorts data schemat beskriver, men för vissa valideringsregler kan det vara svårt att förstå sammanhanget av vad det är för sorts data som beskrivs.

Interaction Control handlar därför om annoteringar av data, vilket är tips och beskrivningar om datan som beskrivs av ett JSON Schema. Det kan användas för att förmedla information om vilken sorts data som är godkänd, och hur den skapas, vilket är centralt i att skapa grafiska användargränssnitt för att manipulera data som beskrivs av ett JSON Schema.

Både validering och annotering täcks mycket av dokumentet JSON Schema Validation, medan *Storage attributes* nästan helt är synonymt med JSON Schema Hyper-Schema. Att beskriva relationer mellan olika resurser och hur de ska interageras med omfattas inte av den här rapporten.

The Json Schema organisation listar kända implementationer på sin hemsida, och har delat upp dem i kategorierna [24]: Validators, Hyper-Schema, Schema generation, Data parsing, UI generation, Editors, Compatibility, Documentation generation. Arbetet kommer behöva implementera tre av de listade implementationerna: Schema generation, Data parsing samt UI generation, vilket diskuteras i resten av kapitlet.

2.4.1 Generering av scheman

Schemagenerering som kategori består av tolv implementationer där det går att ytterligare dela upp implementationerna i tre kategorier. Det finns implementationer som utgår från JSON-data, och genererar ett JSON Schema för att beskriva datan. Det kan användas om det går att anta att all användning av JSON Schemat kommer att användas på data med exakt likadan struktur. Den andra kategorin av implementationer är implementationer som genererar JSON Scheman utifrån kända datatyper i ett statiskt typat språk. Den tredje kategorin av implementation är implementationer som erbjuder en annan metod att beskriva datan, för att sedan översätta det till ett JSON Schema. Kapitel 4.2 diskuterar ämnet i mer detalj.

Implementationerna som genererar JSON Scheman från JSON data:

- Schema Guru (*Scala*) [25]
- JSON Schema Generator (*Visual Studio*) [26]
- json-schema-generator (*JavaScript / JSON*) [27]

Implementationerna som genererar JSON Scheman från statiska datatyper inbyggda i språket:

- Json.NET Schema (*.NET*) [28]
- NJsonSchema for .NET (*.NET*) [29]
- typescript-json-schema (*TypeScript*) [30]
- Typson (*TypeScript*) [31]

Implementationerna som genererar JSON Scheman från andra liknande beskrivningar:

- Liform (*PHP*) [32]
- JSL (*Python*) [27]
- JSONSchema.net (*Online webbverktyg*) [31]
- Schema Guru Web UI
- APIAddIn (*Sparx Enterprise Architect*) [33]

2.4.2 Parsning av JSON Scheman

En parser tolkar JSON Scheman och representerar schemat med någon annan datastruktur. Ofta är parsning viktigt för att schemat ska kunna representeras med en datastruktur som programmeringsspråket är kompatibelt med. Vissa implementationer använder ett färdigt JSON Schema och genererar kod som är kompatibelt med att hantera JSON som är formaterad utifrån schemats struktur. Andra implementationer kan dynamiskt hantera vilket schema som helst under exekvering, och dynamiskt skapa parsers för JSON formaterad utifrån schemat. De parsers som listas på The Json Schema organisations hemsida är följande:

- DJsonSchema *Delphi* [34]
- jsonCodeGen *Groovy* [35]
- aeson-schema *Haskell* [36]
- AutoParse *Ruby* [37]
- json-schema-codegen *Scala* [38]
- Argus *Scala* [39]
- Bric-à-brac *Swift* [40]
- gojsonschema *Golang* [41]
- jsonschema *Golang* [42]

2.4.3 Tidigare försök av generering av grafiska användargränssnitt baserade på JSON Scheman

Det finns olika implementationer av att generera ett grafiskt användargränssnitt utifrån ett JSON Schema. Samtliga kända implementationer är skrivna i språket JavaScript och bemöter därför ingen av svårigheterna med att använda JSON eller JSON Schema med andra språk. Samtliga implementationer är implementationer för att generera hemsidor eller komponenter till hemsidor, vilket skiljer sig mycket mot att generera grafiska användargränssnitt åt Windows med Delphi,

vilket arbetet gjorde. Dessa implementationer utvärderas för att avgöra om de kan användas i systemet som skulle utvecklas, men annars för att förstå hur de fungerar, så att det ska gå att dra slutsatser om hur den här rapportens system ska fungera.

Vissa av implementationerna används för att generera ett grafiskt användargränssnitt för att förklara ett API beskrivet med JSON Schema och andra implementationer används för att generera ett formulär för att manipulera data beskrivet av JSON Schema. Att generera ett formulär för att manipulera data beskrivet av JSON Schema är exakt vad den här rapporten utvärderar. Verktynen för att generera grafiska användargränssnitt som listas på The Json Schema organisations hemsida är följande:

- Alpaca Forms [43]
- Angular Schema Form [44]
- Angular2 Schema Form [45]
- JSON Editor [46]
- JSON Form [47]
- json-forms [48]
- JSONForms [49]
- Jsonary [50]
- liform-react [51]
- Metawidget [52]
- pure-form webcomponent
- React JSON Schema Form [53]
- React Schema Form [54]

Kapitel 3

Metod

Det här kapitlet diskuterar metod både utifrån ett övergripande forskningsperspektiv samt ett mer praktiskt perspektiv över hur arbetet faktiskt genomfördes. I grova drag genomfördes arbetet i två faser. Den första fasen var en förstudie där 29 olika verktyg utvärderades som löste liknande problem som systemet skulle lösa. I den andra fasen implementerades ett system.

De första två kapitlena (3.1 och 3.2) diskuterar hur arbetet genomfördes och varför. Det handlar om de övergripande forskningsmetoderna. Kapitel 3.3, 3.4 samt 3.5 diskuterar de krav som ställdes på potentiella lösningar och den faktiska implementationen. De handlar dessutom om hur arbetet praktiskt genomfördes. Det sista kapitlet (3.6) beskriver hur arbetet utvärderades och hur slutsatser om arbetet drogs.

Det här kapitlet använder termerna *“Forskningsmetod”* och *“Forskningsstrategi”* på samma sätt som Håkansson använder *“Research Method”* och *“Research Strategy”* i *“Portal of Research Methods and Methodologies for Research Projects and Degree Projects”* [5]. Tillsammans kan de ofta kallas forskningsmetod men de särskiljs här vilket läsaren ska vara extra uppmärksam på.

3.1 Forskningsmetod

Arbetet var av kvalitativ karaktär. Arbetet handlade inte om att bekräfta någon teori utan handlade mer om att utforska ett ämne och utforska möjligheterna med en ny utvecklande teknik. Det saknas stora datamängder som krävs för att genomföra statistisk analys, som är kärnan av kvantitativa studier. Dessutom är JSON Schema som ämne fortfarande outforskat, och speciellt att använda JSON Scheman för att generera grafiska användargränssnitt för att manipulera datan som schemat beskriver.

Problemet som arbetet grundade sig på var en fallstudie. Ett specifikt problem skulle lösas utifrån vissa krav och en ny, oprövad och ofärdig teknik skulle användas för att lösa problemet. De två forskningsmetoderna som arbetet skulle kunna kategoriseras som är *Fundamental Research* och *Applied Research*. *Fundamental Research* fokuserar på nya fundamentala principer och att testa

nya teorier. Det används för all sorts forskning för att skapa nya innovationer, principer och teorier [5].

Applied Research handlar om att besvara specifika frågeställningar och att lösa kända och praktiska problem [5]. En grov jämförelse går att göra där *Fundamental Research* bryr sig om generella lösningar medan *Applied Research* handlar om specifika lösningar, men där båda metoderna resulterar i nyskapande teknik.

Ämnet kring JSON Scheman med inriktning på dess applicering på grafiska användargränssnitt är till stor del utforskat i den akademiska världen; Dock finns det icke-vetenskapliga verktyg som använt JSON Schema för att skapa grafiska användargränssnitt med varierande kvalitet på resultat och ofta bristande dokumentation (se kapitel 2.4.3 och 4.6). Då arbetet är väldigt tidigt i att utforska ämnet vetenskapligt, skulle det gå att säga att forskningsmetoden räknas som *Fundamental Research* samtidigt som det också skulle gå att kalla det *Applied Research* [5]; Speciellt med tanke på att ämnet inte är helt nytt [5]. Då lösningen som utvecklades ansågs vara väldigt specifik och inte tillräckligt generell så ansågs forskningsmetoden vara *Applied Research*.

3.2 Forskningsstrategi

Arbetet var en fallstudie. Det fanns vissa krav och begränsningar som skulle identifieras och en lösning skulle utvecklas. Det finns tidigare lösningar som löser liknande problem och de utvärderades. Genom att undersöka de lösningarna gick det att dra slutsatser om vilka svårigheter det finns med att använda JSON Schema för att automatisk generera ett grafiskt användargränssnitt. Det gick också att dra slutsatser om hur generella JSON Scheman det går att använda sig av.

För att svara på de mer praktiska frågorna som presenterades i kapitel 1.3 utformades vissa krav för hur systemet skulle fungera och utifrån de kraven utvärderades alla tidigare liknande lösningar. Om någon av de verktygen löste alla problem inom kravspecifikationen skulle de användas. Om det bara fanns verktyg som delvis kunde användas skulle det utvärderas om det skulle vara möjligt att delvis använda det verktyget i utvecklandet av systemet. De kraven beskrivs senare i kapitlet.

3.3 Systemet att förhålla sig till

Det grafiska användargränssnittet som skulle utvecklas för att manipulera data på operatörsdatorer, skulle vara en del av administratörsprogrammet som bestod av flera delar. Dessutom skulle servern på operatörsdatorerna bli ett tillägg till befintliga Mimer. Därför behövde arbetet av teknisk anledning ta hänsyn till hur LSE utvecklade resten av systemet med val av programmeringsspråk och utvecklingsmiljö. LSE arbetar huvudsakligen med språket Delphi för att utveckla skrivbordsapplikationer till Windows, vilket båda komponenterna av systemet är. Därför utvecklades arbetet i programmeringsspråket Delphi.

3.4 Utvärdering av kända verktyg

För att skapa en medvetenhet över hur andra tidigare löst eller försökt lösa liknande problem utvärderades och testades 29 olika implementationer som erbjuder liknande funktionalitet. Det skapade en bra bild över vad som krävdes för att genomföra arbetet.

3.4.1 Krav för verktyg som genererar eller parsar JSON Scheman

Kraven för verktygen som erbjöd funktionalitet för att generera eller parsar JSON Scheman utvärderades utifrån tre krav:

- Verktöget måste vara enkelt att integrera med resten av systemet.
- Verktöget måste vara enkelt att använda för det verkliga användningsområdet.
- Verktöget måste använda sig av den senaste versionen av JSON Schema (version 7)?

De två första kraven kan anses vara subjektiva och måste baseras på författarens försäelse av verktygen. Det är problematiskt då reliabiliteten är svag. För att förstärka reliabiliteten diskuteras kraven utförligt i kapitel 4. Ett sätt att förbättra reliabiliteten av frågeställningarna skulle kunna vara att byta ut ordet *enkelt* mot *möjligt* i de första två kraven då det skulle kunna vara enklare att svara på frågorna då *möjligt* är ett mindre subjektivt ord än *enkelt*. Problemet med ordet *möjligt* är att det öppnar upp frågan till den grad att en orimligt komplex lösning skulle kunna användas i utvecklandet av systemet trots att det vore mycket enklare att skapa ett nytt verktyg. Därför ansågs kraven vara rimliga, men det kan vara bra om läsaren har reliabilitet i åtanke när utvärderingarna presenteras i kapitel 4 och implementationen beskrivs i kapitel 5.

Det första kravet utformades för att avgöra om verktyget går att använda med resten av systemet. Om verktyget är gjort för att fungera med ett specifikt programmeringsspråk som inte är Delphi kan det vara svårt eller omöjligt att implementera verktyget i systemet. Det andra kravet handlar om att verktyget måste gå att använda för syftet. Det kan handla om att ett verktyg genererar JSON Scheman utifrån information som inte finns tillgänglig eller att verktyget bara parsar vissa sorters JSON Scheman.

Det sista kravet utformades för att LSE vill att deras system ska vara kompatibelt med den mest relevanta standarden. JSON Schema är fortfarande inte en helt färdig standard men det går att spekulera att en senare standard är mer lik den färdiga standarden. Det skulle också öka kompatibiliteten med andra system som använder den senaste standarden vilket skulle kunna vara relevant om systemet skulle integreras med något annat.

3.4.2 Krav för verktyg som genererar ett grafiskt användargränssnitt utifrån ett JSON Schema

Kraven för verktygen som genererar ett grafiskt användargränssnitt utifrån ett JSON Schema är samma som kraven i förra kapitlet och:

- Verktöget får inte använda ett extra “*ui-schema*” eller liknande för att presentera komplexa datastrukturer på ett bra sätt.
- Verktöget får inte lägga till extra *properties* till JSON Schemat som gör det inkompatibelt med JSON Schema-standarderna för att presentera datakomplexa strukturer på ett bra sätt.

Dessa krav kan också anses vara subjektiva då både komplexa datastrukturer och bra presentation är odefinierade. Författaren ansågs dra tillräckligt tillförlitliga slutsatser utifrån kompetensen om systemet som skulle byggas, och hur verktygen passade systemet. Anledningen till att verktöget inte skulle använda extra “*ui-scheman*” eller liknande är att JSON Schema ansågs tillföra tillräcklig information för att generera grafiska användargränssnitt, trots om komplex datastruktur skulle representeras. Anledningen till att verktöget skulle vara JSON Schema kompatibelt var för att säkerställa kompatibilitet med andra system eller verktyg som använder JSON Scheman. Dessa två krav var också viktiga för att svara på frågorna som ställdes i problemformuleringen.

3.5 Skapande av systemet

Efter utvärderingen av befintliga verktyg implementerades systemet. Om något av verktygen kunde användas skulle de användas och annars skulle ett eget verktyg skapas. I kapitel 5 diskuteras och besvaras frågorna som presenterades i kapitel 1.3:

- Hur ska användarinteraktion integreras i detta system, så att interaktion faktiskt manipulerar data?
- Hur ska schemat som formuläret baseras på, genereras?
- Hur ska schemat parsas, tolkas och sedan representeras i språket Delphi?
- Hur ska schemats representation tillsammans med data presenteras i ett grafiskt användargränssnitt?

3.6 Utvärdering av arbetet

Efter att arbetet blev genomfört och färdigt utvärderades det. Utvärderingen är dock väldigt subjektiv då den inte bygger på någon kvantitativ data, eller objektiv datainsamling. Utvärderingen bygger på subjektiv förståelse av det färdiga systemet. Det utvärderades bland annat hur generellt systemet blev. Förbättringar på systemet diskuteras och fortsatt arbete föreslås, inte bara för systemet i arbetet utan primärt fortsatta utvecklingsområden hos JSON Schema.

Kapitel 4

Utvärdering av befintliga verktyg

För att förstå hur systemet skulle utvecklas, och om det redan fanns liknande lösningar utvärderades alla kända implementationer som berörde liknande ämnesområden som det här arbetet. Implementationerna presenterades i kapitel 2.4 och kommer diskuteras mer djupgående i detta kapitel. Resultatet från utvärderingen av verktyg som genererar eller parsar JSON Scheman var att inget verktyg passade användningsområdet, och att en implementation var trivial. Därför beslutades det att både generering och parsning implementeras skulle skapas av författaren. Samtliga verktyg som genererar grafiska användargränssnitt utifrån JSON Scheman var anpassade för hemsidor (*HTML*, *CSS* och *JavaScript*), vilket hindrade verktygen från att integreras med systemet som skrevs i Delphi som en skrivbordapplikation till Windows. Därför fick även det verktyget skapas av författaren.

4.1 Implementationer som utesluts ur rapporten

Vissa av implementationerna uteslöts från rapporten då det ansågs vara omöjligt att förstå implementationerna. *Schema Guru Web UI* kunde inte hittas. *AutoParse* är ett verktyg som inte uppdaterats sedan 26 Mars 2013, vilket betyder att den som bäst kan implementera version tre av JSON Schema [37]. Dessutom länkar projektet till en hemsida som länkar tillbaka till projektet, vilket saknar dokumentation [37]. Verket *gojsonschema* saknade tillräcklig information på engelska eller svenska [41]. *Jsonary* hade bristande dokumentation, med länkar till en hemsida som inte finns [50]. Länken till *pure-form webcomponent* på Json Schemas hemsida returnerade felkoden 404 vilket betecknar att webbsidan som efterfrågats inte finns eller inte kan hittas. Efter omfattande sökningar hittades inte verktyget.


```
{  
  "name": "Julius"  
}
```

Figur 4.1: Exempel på enkelt JSON-objekt

4.2 Generering av scheman från JSON

Att generera JSON Scheman från en JSON-fil perfekt, är omöjligt. Att bara observera en JSON-fil tillför inte tillräcklig information för att generera ett JSON Schema. Studera exemplet i figur 4.1. Att skapa ett JSON Schema som beskriver det objektet skulle kunna se ut som i figur 4.2a. Då har antaganden tagits om att det objektet alltid ska ha en *property* som heter *name* och ska innehålla en textsträng. Det skulle kunna vara så att *name* alltid ska innehålla en textsträng som börjar på stor bokstav, vilket är rimligt när det representerar ett namn, och då skulle schemat se ut som i figur 4.2b. Det skulle annars kunna vara så att *name* inte får vara vilken textsträng som helst utan måste vara en av två textsträngar. Det skulle till och med kunna vara så att *name* också skulle kunna vara det booleska värdet *false*. Då skulle schemat se ut som i figur 4.2c.

Alla de här exemplen har enbart behandlat feltolkning av en *property* och inte diskuterat ännu större missförstånd med objektets struktur. Objektet skulle möjligtvis kunna ha en valfri *property* som representerar efternamn. Då skulle schemat se ut som i figur 4.2d. Alla exempel är giltiga scheman till objektet i det givna exemplet. Det finns ingen möjlighet att förstå vilket schema som faktiskt beskriver datan, utan att göra många antaganden om datan. Därför ansågs samtliga lösningar som genererar JSON Scheman från JSON-filer vara otillräckliga för projektet.

```
{
  "type": "object",
  "properties": {
    "name": {
      "type": "string"
    }
  }
}
```

(a) Exempel på genererat schema

```
{
  "type": "object",
  "properties": {
    "name": {
      "type": "string",
      "pattern": "^[A-Z].*$"
    }
  }
}
```

(b) Exempel på genererat schema med strängmönster

```
{
  "type": "object",
  "properties": {
    "name": {
      "enum": ["Julius", "Erik", false]
    }
  }
}
```

(c) Exempel på genererat schema med *enums*

```
{
  "type": "object",
  "properties": {
    "name": {
      "type": "string"
    },
    "lastName": {
      "type": "string"
    }
  },
  "required": ["name"]
}
```

(d) Exempel på genererat schema med dolda *properties*

Figur 4.2: Olika JSON Scheman som är kompatibla med JSON-objektet i figur 4.1

4.3 Generering av scheman från statiska datatyper i statiskt typade programmeringsspråk

Det finns implementationer som utnyttjar att statiskt typade programmeringsspråk redan innehåller beskrivningar av data som ska bearbetas. Både .Net och TypeScript erbjuder programmeringsfunktioner inbyggda i språket för att beskriva komplexa datastrukturer. Att sedan översätta dem till JSON Schema-filer presterar riktigt bra. Varken .Net eller TypeScript erbjuder stöd för att exempelvis bestämma att ett tal bara får finna sig inom ett bestämt intervall, och det saknas fler specificiteter som JSON Schema erbjuder. För att bemöta de bristerna använder samtliga implementationer speciellt formaterade kommentarer som kallas annotationer, vilket möjliggör all funktionalitet som JSON Schema erbjuder. Att TypeScript är ett språk som kompileras till JavaScript, vilket JSON och i sin tur JSON Scheman bygger på innebär att översättningen mellan datatyper i TypeScript och JSON Scheman resulterar i väldigt korrekta resultat. [28–31]

Implementationer skrivna för .Net eller TypeScript ansågs vara svåra och möjligtvis omöjliga att integrera i systemet. Det är självklart en subjektiv bedömning tagen av författaren. Bedömningen baseras på att all kod som hanterar JSON Scheman måste vara skrivet i antingen platformen .Net eller språket TypeScript. Det skulle innebära att en stor del av systemet vore skrivet i ett språk som inte är Delphi, samt att de två delarna av systemet skulle behöva integreras. Då generering av JSON Schema är relativt trivialt ansågs det vara enklare att skapa ett eget verktyg.

4.4 Andra genererare av scheman

Liform och *JSL* erbjuder metoder och funktioner som underlättar dynamiskt skapande av JSON Scheman under exekvering. De erbjuder datatyper som är inbyggda i språket för att definiera och hantera komponenter av JSON Scheman. De kan sedan generera ett JSON Schema utifrån de här instanserna av datatyperna. [27, 32]

APIAddIn är ett plugin åt *Sparx Enterprise Architect*, vilket är ett verktyg för modellering, visualisering och design av system, mjukvara, processer eller arkitekturer. Verktöget baseras på UML vilket är ett generellt språk för modellering av system. Det erbjuder delvis en liknande funktion som JSON Schema erbjuder. Om datan som skulle beskrivas av JSON Scheman redan fanns definierade med UML, skulle det möjligtvis vara ett rimligt alternativ att överväga, men då datan inte fanns definierat med UML ansågs *APIAddIn* vara ett onödigt verktyg, när schemat lika gärna kan definieras med JSON Schema från första början. [33]

Online-verktyget *JSONSchema.net* är ett verktyg för att skapa JSON Scheman, med hjälp av ett grafiskt användargränssnitt. Det erbjöd inte mer funktionalitet än att skriva JSON Schemat manuellt. Dessutom genererade den inte JSON Scheman enligt den senaste standarden. [55]

4.5 Parsning av JSON Scheman

En viktig del i all hantering av JSON Scheman är självklart parsningen, vilket är utförandet av att läsa och tolka JSON Schemat, för att sedan representera innehållet på nytt med en annan representation som är mer användbar för syftet. Vissa parsers tolkar ett JSON Schema, och genererar kod för att hantera JSON-filer som är strukturerade efter det schemat. Det kan också användas för att programmet dynamiskt ska förstå hur en JSON-fil ska läsas. Dessutom kan det handla om att parse ett JSON Schema för att skapa ett dynamiskt test för att testa om given JSON-data är korrekt formaterad, utifrån det givna schemat.

DJsonSchema är ett verktyg som parser ett JSON Schema och sedan genererar kod som klarar av att parse JSON som följer samma struktur som schemat. *DJsonSchema* är skrivet i Delphi och genererar kod för Delphi, vilket är samma språk som konfigurationssystemet skrevs i. Systemet krävde dynamisk parsning av scheman så därför passar inte *DJsonSchema* för parsning i detta projekt. Utöver det saknades stöd för version sju av JSON Schema. *DJsonSchema* uppger dessutom att implementationen var ofullständig. [34]

jsonCodeGen hade bristfällig dokumentation. Det framstod att det var ett verktyg som parser en utökad version av JSON Scheman som inte var kompatibel med den senaste officiella, eller någon tidigare officiell JSON Schema specifikation. Dessutom var verktyget skrivet för Groovy, vilket också gör den kompatibel med Java, men inte Delphi. Utifrån beskrivningen av hur verktyget skulle användas framstod det som att verktyget genererar statiska filer utifrån JSON Scheman eller JSON-filer, vilket inte är dynamiskt som konfigurationssystemet kräver. Det är också värt att nämna att utvecklarna av *jsonCodeGen* är samma utvecklare som utvecklade *DJsonSchema*. [35]

aeson-schema är ett verktyg för att validera ett JSON-värde mot ett schema, eller för att generera en JSON parser åt JSON-filer som är strukturerade efter ett givet schema. Det garanterar att om ett JSON-värde blivit godkänd i validering, kan samma JSON-värde parsas och användas i ett program skrivet i Haskell. Verktyget implementerar version tre av JSON Schema, vilket inte är version sju som projektet använder. [36]

json-schema-codegen stöder stora delar av JSON Schema men inte allt. Verktyget parser ett JSON Schema och genererar sedan kod som kan parse JSON som är strukturerade efter schemat. [38]

Argus är ett verktyg som erbjuder nästan exakt den funktionalitet arbetet skulle implementera, vilket var att dynamiskt parse JSON Scheman och sedan erbjuda en JSON parser som parser JSON-filer som har strukturen som är beskriven av schemat. Parsern som parser JSON-filerna kunde sedan erbjuda representationer av datan i form av datastrukturer som är kompatibla med programmeringsspråket programmet är skrivet i. *Argus* implementerades i Scala, vilket inte är kompatibelt med Delphi. [39] *Bric-à-brac* är också ett verktyg som liknade *Argus* i funktionalitet, fast implementerat i språket Swift [40]. En notering är att dokumentationen är motstridig då den påstår att verktyget erbjuder en oföränderlig *immutable* datastruktur, men den i exempelkoden visar motsatsen [40]. Det skulle kunna vara en indikator för att projektet inte är helt felfritt.

jsonschema är ett verktyg som dynamiskt parser JSON Scheman och erbjuder en instans som kan användas för att validera JSON-filer. Projektet är skrivet i Golang, vilket inte är kompatibelt

med Delphi. [42]

Många av dessa projekt saknar tillräcklig dokumentation, vilket gör det omöjligt att använda dem i ett projekt. Dessutom är parsningen av JSON Scheman relativt enkelt, då det enbart handlar om att parse JSON-filer som följer en förutbestämd struktur. Dessutom skiljer sig användningsområdena sig starkt efteråt, vilket kan kräva unik anpassning av JSON Schema-parsern, vilket är en stor anledning till att det finns så många olika sorters parsers. Ett annat problem att ta hänsyn till med implementationerna är att många av dem bara erbjuder generering av statisk kod i förväg, och klarar inte av att tolka olika JSON Scheman under exekvering av programmet. Det här arbetet handlar om att dynamiskt tolka olika sorters scheman för att anpassa ett användargränssnitt till servern som klienten kommunicerar mot, vilket innebär att de implementationerna är oanvändbara. Det sista och största problemet med implementationerna är att bara en var kompatibel med Delphi, vilket är språket som systemet skrevs i, och det ansågs vara otillräckligt. Med hänvisning till att det är relativt enkelt att skriva en parser och med problematiken alla implementationer presenterade, skrevs en egen parser åt det här arbetet.

4.6 Användargränssnitt genererade baserat på JSON Scheman

Samtliga implementationer som genererar grafiska användargränssnitt utifrån JSON Scheman, gör det för hemsidor (*HTML*, *CSS* och *JavaScript*). Att generera ett grafiskt användargränssnitt, baserat på JSON Scheman, med ett annat språk än JavaScript kan presentera hinder eller svårigheter. Att använda ett webbaserat grafiskt användargränssnitt var inte ett alternativ för systemet men samtliga implementationer undersöktes, för att ta lärdom om hur de fungerade. Många lösningar separerar JSON Schemat med datan som JSON Schemat beskriver. Den faktiska datan som det grafiska användargränssnittet visar, och sedan manipulerar kommer också kallas modell i resten av rapporten.

Att använda JSON Schema för att generera grafiska användargränssnitt kan ske på olika sätt, och många implementationer bygger på att ytterligare information tillförs för att kunna specificera hur modellerna ska representeras i det grafiska användargränssnittet. Vissa lösningar är generella för användning på vilken hemsida som helst, medan andra är kopplade till att användas med ett visst ramverk, som React, JQuery eller Angular.

Alpaca Forms är en unik lösning då den är den enda implementationen som inte använder ett JSON Schema som är formaterat med JSON, utan schemat är en instans av ett JavaScript-objekt, vilket möjliggör att schemat inkluderar funktionslogik; En funktionalitet som saknas hos JSON. Utöver funktionslogik, inkluderar schemat en *property* som kallas *options*, som används för att beskriva hur det grafiska användargränssnittet ska se ut. De delarna av schemat som är korrekt JSON Schema används till stor del enbart för att koppla ihop det grafiska användargränssnittet med datan. [43]

Andra lösningar som utökade det officiella JSON Schemat är:

- Angular2 Schema Form [45]

- JSON Editor [46]
- json-forms [48]
- JSONForms [49]
- liform-react [51]
- Metawidget [52]
- React JSON Schema Form [53]

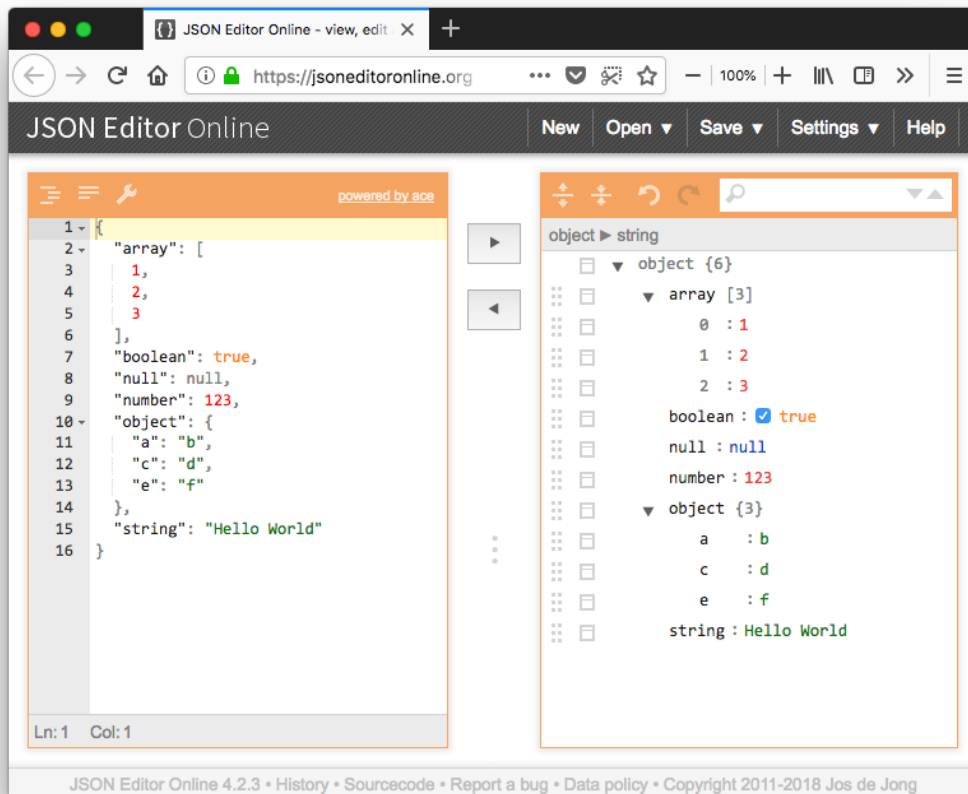
En annan lösning till problemet är att använda ett separat JSON-objekt som fungerar som ett schema för formulärets utseende och beteende. Lösningarna som använder den sortens lösning är:

- Angular Schema Form [44]
- Angular2 Schema Form [45]
- JSON Form [47]
- json-forms [48]
- JSONForms [49]
- liform-react [51]
- React JSON Schema Form [53]
- React Schema Form [54]

Observera att vissa implementationer både utökar JSON Schemat, och lägger till extra scheman för att beskriva formulärets utseende och beteende. Vissa lösningar utökar schemat för att sedan lägga till ett extra mellansteg där vissa parametrar i modellen kopplas till extra funktionslogik. Inget verktyg ansågs vara enkelt att integrera med systemet då de skrevs för att fungera med hemsidor. Dessutom skrevs många verktyg för fel version av JSON Schema. Utöver det så använde nästan alla verktyg ett externt *“ui-schema”* eller inkompatibla JSON Scheman. Därför ansågs inga verktyg vara tillräckliga och ett nytt skapades.

4.7 Fördjupad utvärdering av grafiska användargränssnitt baserade på JSON Scheman

De grafiska användargränssnitt som genererades av verktygen går att dela in i två kategorier vilket här kallas *trädstruktur* samt *platt formulär*. En *trädstruktur* är ett grafiskt användargränssnitt som erbjuder en generell JSON-editor där datan visuellt representeras med en trädstruktur. Det finns många exempel på grafiska användargränssnitt som erbjuder ett grundläggande gränssnitt för att redigera generell JSON-data. De skiljer sig inte mycket mot att skriva JSON manuellt, men

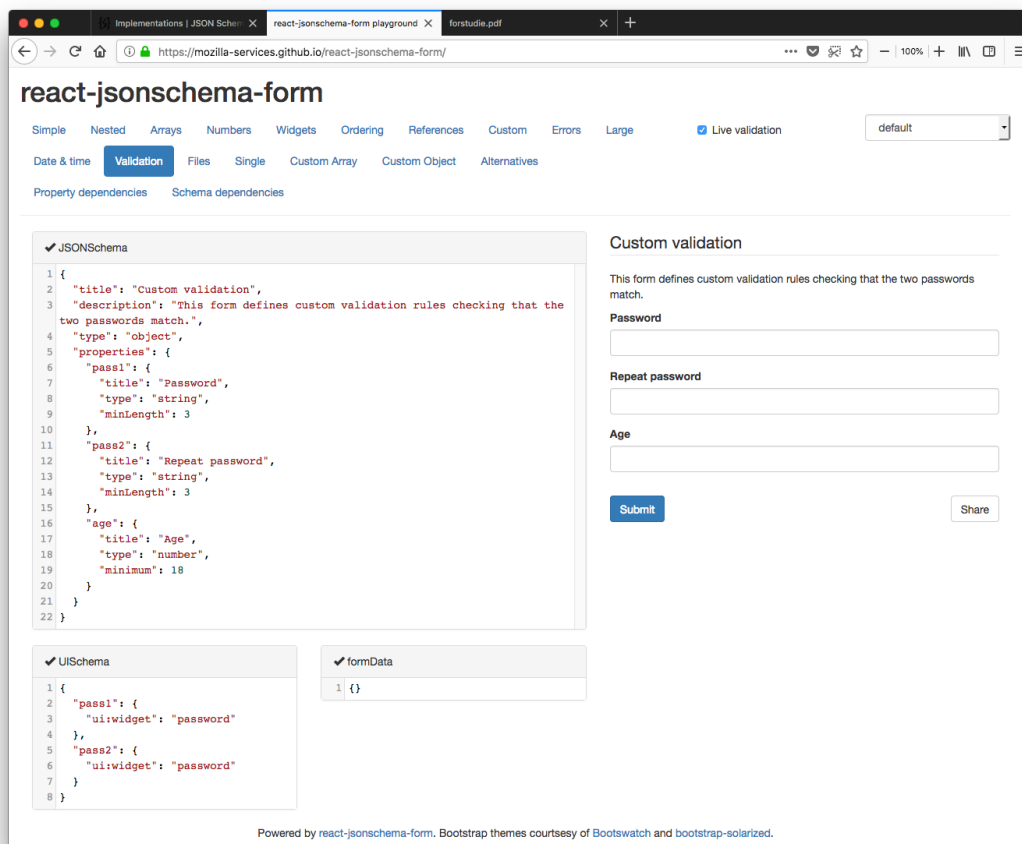


Figur 4.3: JSON Editor Online [57]

kan erbjuda enkel hjälp med nyckelord och formatering. Figur 4.3 visar JSON Editor Online, vilket är ett exempel på ett sådant grafiskt användargränssnitt [57]. Det skulle kunna gå att begränsa vad användaren skulle kunna mata in med hjälp av JSON Schemat men ett sådant formulär har möjlighet att hantera JSON Data som följer all möjlig sorts struktur.

En stor fördel med *trädstrukturer* är att då de speglar strukturen av ett JSON-dokument kan de enkelt användas för att visualisera nästan vilken sorts JSON-data som helst, oberoende datans komplexitet. En nackdel med att använda ett sådant grafiskt användargränssnitt är att det inte är enkla att anpassa för ändamålet, och det grafiska användargränssnittet blir inte särskilt frikopplat mot datan som ska manipuleras. Det blir dessutom svårt att presentera information till användaren som kan hjälpa användaren förstå hur datan kommer användas.

Ett annat alternativ är att göra som React JSON Schema Form (se figur 4.4), vilket då hamnar i kategorin *platt formulär*. React JSON Schema Form genererar ett webbformulär utifrån ett JSON Schema och ett extra JSON-dokument som kallas UISchema [53]. Varje datanod som kan manipuleras representeras med ett inmatningsfält och objekt och vektorer representeras med visuella grupperingar. Användargränssnittet blir mycket mer anpassat till syftet, och lättare att



Figur 4.4: React JSON Schema Form [53]

använda. Dessutom utnyttjas annoteringsnyckelorden *title* och *description* från JSON Schemat, för att förklara för användaren vad datan betyder.

Det som är en nackdel hos *platta formulär* är hur de presenterar djupt komplexa JSON-strukturer. Det är inte uppenbart hur ett grafiskt användargränssnitt skulle visualisera en vektor innehållande objekt med två *properties*, varav ena *propertyn* är ett objekt med två olika vektorer. I ett komplext formulär kan det också vara svårt att veta hur annoteringar som *title* och *description* borde presenteras. För att lösa problemet med representation av komplex data använder verktygen oftast ett externt "*ui-schema*" eller tillägg till JSON Schemat för att tillföra extra annoteringsinformation om formulärets utseende. Det är en riktigt bra kompromiss om lösningen måste kunna klara av att presentera djupt komplexa datatyper, som inte följer en förutbestämd struktur, dock så uppfyller det inte kraven som ställdes på verktygen.

En *trädstruktur* hanterar representation av djupt komplex data som *platta formulär* inte klarar av lika bra. Det kan vara enklare att förstå den övergripande strukturen med en *trädstruktur*, vilket speciellt gynnar datatyperna objekt och vektorer. Däremot bidrar *platta formulär* mycket bättre förklaringar av enstaka datanoder som är någon av de andra datatyperna, vilket ger bättre

förståelse för datanoderna, vilket *trädstrukturer* inte lyckas med.

Kapitel 5

Implementering

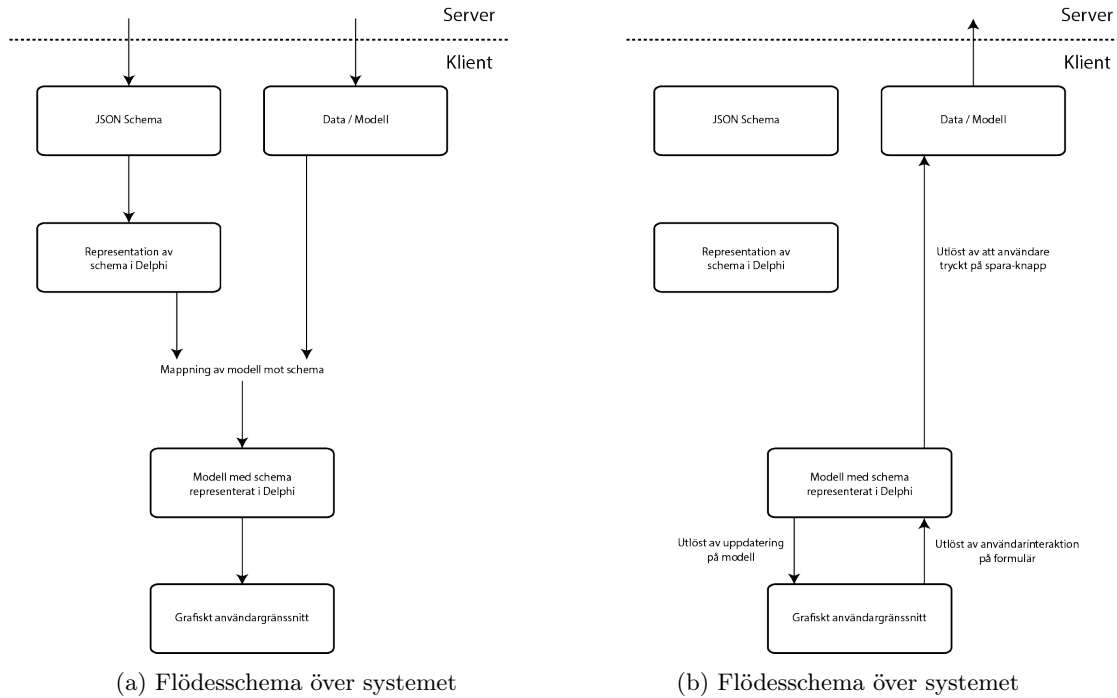
Det här kapitlet presenterar hur systemet implementerades. Det diskuterar även frågeställningar som bemöttes samt hur det här arbetet förhåller sig till tidigare implementationer av liknande lösningar. De fyra underkapitlen i det här kapitlet besvarar en av de fyra praktiska frågorna var som introducerades i kapitel 1.3.

5.1 Systemet i helhet

Systemet som skulle utvecklas följde klient-server-modellen. Administratörsprogrammet skulle som klient ansluta till en operatörsdator som var server. Servern skulle både förmedla strukturen av sina tillgängliga manipulerbara inställningar, samt deras nuvarande tillstånd. Därefter skulle klienten presentera ett grafiskt användargränssnitt som är speciellt anpassat till serverns tillgängliga manipulerbara inställningar, och dessutom propagera användarinteraktioner tillbaka till servern. Resten av det här kapitlet diskuterar hur det implementerades.

När det grafiska användargränssnittet ska visas första gången, eller efter att en användare valt att trycka på spara-knappen (se figur 5.4), skickar servern två dokument till klienten. Det dataflödet illustreras i figur 5.1a. Det ena dokumentet är ett JSON Schema som beskriver vilken data användaren med hjälp av klienten ska kunna se och redigera. Det andra dokumentet som skickas till klienten är den faktiska data som är sparad på servern. Först så parsas schemat och representeras i instanser av *records* eller objekt i Delphi. Sedan används datan för att populera objekten med de korrekta värdena för att tillsammans skapa modellen. Det sista steget är att det grafiska användargränssnittet genereras och presenteras för användaren.

Varje gång användaren interagerar med det grafiska användargränssnittet och matar in giltig data, uppdateras modellen vilket i sin tur uppdaterar det grafiska användargränssnittet. Det dataflödet illustreras i figur 5.1b. Detta sker utan någon kontakt med servern. Om användaren är nöjd med sina ändringar och vill spara dem på servern kan användaren trycka på spara-knappen (se figur 5.4) så uppdateras dataobjektet med de nya värdena från datamodellen, vilket sedan skickas till servern. Efter det börjar systemet igång från början igen.



Figur 5.1: Illustration av dataflöde till och från det grafiska användargränssnittet

5.2 Generering av JSON Schema i Delphi

Hur JSON Schemat genereras, påverkar inte slutanvändaren, men det påverkar utvecklarna som ska jobba med systemet, och kan hindra vilken funktionalitet som finns tillgänglig i systemet. Ett alternativ är självklart att manuellt skriva scheman, men då olika klienter måste ha olika scheman, måste utvecklare se till att rätt schema hamnar på rätt klient vid installationen av Mimer SoftRadio. Om en kund skulle vilja uppgradera funktionaliteten hos sin installation av Mimer SoftRadio, och därmed behöva tillgång till fler konfigurerbara inställningar i systemet, skulle schemat behöva uppdateras efteråt.

Ett annat alternativ är att basera schemat på inbyggda datatyper i det statiskt typade språket Delphi. `Json.NET Schema`, `NJsonSchema` for .NET, `typescript-json-schema` samt `Typson` erbjuder exakt den här funktionaliteten i språken .NET respektive TypeScript. För att lägga till extra beskrivningar av datan som språket inte räcker till för, använder .NET-implementationerna `Data Annotation Attributes`, och TypeScript-implementationerna använder experimentella `Decorators`. [28–31] Delphi erbjuder liknande funktionalitet med `Attributes (RTTI)` [56]. Att annotera datastrukturer som faktiskt sedan kommer användas i ett system kan automatisera väldigt mycket. Det passar bra om det handlar om att bygga ett API där JSON Scheman ska användas för att beskriva för klienter hur och vilken data de kan manipulera. Då kan scheman dynamiskt skapas vid exekvering och de är alltid synkroniserade med datan som systemet är konstruerat för att hantera. Problemet med den lösningen är att schemat i det här arbetet inte ska användas för att beskriva vilken data som kan manipuleras på servern, utan det ska användas för att beskriva hur ett grafiskt användargränssnitt ska se ut. Den data som ska presenteras på det grafiska

användargränssnittet är en delmängd av all tillgänglig data på servern. Det skulle kunna gå att lägga till annoteringar som beskriver vilken data som ska finnas med på schemat, men det finns enklare lösningar.

Alternativet att manuellt skriva JSON Scheman kräver mycket upprätthållning av scheman och är väldigt mottagligt för misstag hos utvecklarna. Det kräver dock inget system för att dynamiskt generera scheman vid exekvering, då de redan skulle vara genererade. Alternativet att konstruera ett system som använder run-time type information (*RTTI*) är väldigt smidigt för utvecklare under exekvering men kräver relativt mycket utveckling. Ett mellanting skulle vara felsäkert som handskrivna JSON Scheman, men samtidigt dynamiskt genererat vid exekvering för felfria scheman.

JSL är ett exempel på en implementation som erbjuder specifika komplexa datatyper som underlättar genererandet av JSON Scheman. JSL skiljer på datastrukturerna som används för att representera och manipulera data, och själva schemat som används för att beskriva de tidigare nämnda datastrukturerna. [27] Det ansågs vara ett väldigt praktiskt mellanting. Scheman skrivs manuellt men de skrivs inte som JSON Scheman. Istället skrivs de som instanser av komplexa datatyper i Delphi, som sedan under exekvering dynamiskt tolkas för att generera ett JSON Schema. Det här tillåter servern att under exekvering utföra logiska bedömningar för att inkludera exakt det som ska inkluderas i schemat, beroende på vilken version av Mimer SoftRadio operatörsdatorn har, och med vilken tillgänglig funktionalitet operatörsdatorn har. Schemagenerering är frikopplat från databehandling, men är samtidigt dynamiskt genererat utifrån tillgänglig funktionalitet på operatörsdatorn. Ett exempel på ett genererat schema presenteras i figur 5.2.

Att generera scheman från JSON-filer ansågs inte vara praktiskt genomförbart (se kapitel 4.2), och skulle inte kunna upprätthålla kraven på systemet. Det skulle dessutom helt ta bort möjligheten för utvecklare att beskriva det grafiska användargränssnittet.

```

{
  "$schema": "http://json-schema.org/draft-07/schema",
  "type": "object",
  "properties": {
    "TMimerMainSettings": {
      "title": "Mimer main settings",
      "description": "Mimer main settings",
      "properties": {
        "MyName": {
          "title": "My name",
          "description":
            "This is the name that will be shown. Max length is 10 characters. Name
            ↪ has to be capitalized.",
          "type": "string",
          "maxLength": 10,
          "minLength": 3,
          "pattern": "^[A-Z].*"
        },
        "MyId": {
          "title": "My id",
          "description":
            "Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod
            ↪ tempor",
          "type": "integer",
          "minimum": 10,
          "maximum": 249
        },
        "FixedSize": {
          "title": "Fixed size",
          "description":
            "If this is turned on, the Mimer SoftRadio window is not resizable",
          "type": "boolean"
        },
        "SendUserInfoIP": {
          "title": "Send user info IP address",
          "description": "Address to send user info to",
          "type": "string",
          "format": "ipv4"
        },
        "FreeMoveEnabled": {
          "title": "Device panels moveable mode",
          "description":
            "This mode decides if the device panels are fixed or moovable.",
          "type": "boolean",
          "enum": [
            false,
            {
              "title": "Fixed",
              "const": true
            }
          ]
        }
      }
    }
  }
}

```

Figur 5.2: Exempel på genererat schema

5.3 Parsningen av JSON Schema i Delphi

Parsningen av JSON Scheman skedde på ett liknande sett som scheman genererades. För att förenkla arbetet skapades en hjälpklass för att hantera scheman i Delphi. Det innehöll olika objekt (*records*) för att representera olika komponenter i JSON Scheman, samt hjälpfunktioner för att generera JSON Scheman utifrån objekten, och parse JSON Scheman för att sedan få dessa objekt. Ett tillägg till enkla JSON Scheman var att dessa objekt också kunde innehålla värdet av komponenten den innehöll. Utöver hjälpfunktioner för att parse och generera scheman fanns bland annat också hjälpfunktioner som användes för att bestämma vilken grafisk komponent som skulle användas för att representera datan.

Strukturen av dessa JSON Scheman kunde antas ha en förutsatt struktur, då användningsområdet var väl känt, samt att både klient och server utvecklades med åtanke till varandra och ingen annan tjänst. Alla inställningsfiler som skulle manipuleras av det grafiska användargränssnittet hade en liknande struktur som figur 5.3. Hela filen är ett objekt, med inställningsgrupper som *properties*. Figuren har bara en inställningsgrupp men det finns möjlighet för fler. Varje inställningsgrupp är också ett objekt, och den har *properties* som representerar inställningar. Dessa inställningar är alltid en textsträng, ett heltal, eller ett booleskt värde. Det går därför att utforma parsningen utifrån den här förutbestämda strukturen.

För att både generering och parsning hanterades av samma tjänst ansågs nyckelordet *definitions* och *\$ref* vara onödigt. Parsern hade därför inte stöd för de två nyckelorden. Det var också känt att parsern aldrig skulle behöva hantera vektorer (*array*) som datatyp vilket innebar att alla nyckelord relaterade till array kunde ignoreras i implementationen. Utöver det var den grundläggande strukturen väl känd och därför behövdes inte nyckelord som: *if*, *then*, *else*, *allOf*, *anyOf*, *oneOf* och *not*.

Det fanns fler nyckelord som inte implementerades då bara en delmängd av JSON Schema implementerades. För att flersvarsalternativ skulle kunna erbjudas i det grafiska användargränssnittet implementerades stöd för nyckelordet *enum*, dock med vissa tillägg vilket diskuteras mer i kapitel 5.4.

Figur 5.1a beskriver systemet i helhet och där är parsningen en viktig del av dataflödet. Först parsas schemat för att skapa en representation av schemat i Delphi, med de tidigare nämnda objekten. Objekten innehåller också värdet av datan de beskriver men i det första steget är alla värden tomma. Nästa steg är att traversera JSON-filen som innehåller den riktiga datan, och

```
{
  "TTimerMainSettings": {
    "MyName": "User1",
    "SendUserInfoIP": "192.168.0.10",
    "MyId": 10,
    "FixedSize": false,
    "FreeMoveEnabled": false
  }
}
```

Figur 5.3: Exempel på genererad inställningsfil

sedan populera objekten med korrekta värden. Först då kan det grafiska användargränssnittet genereras.

5.4 Representation av data i användargränssnittet

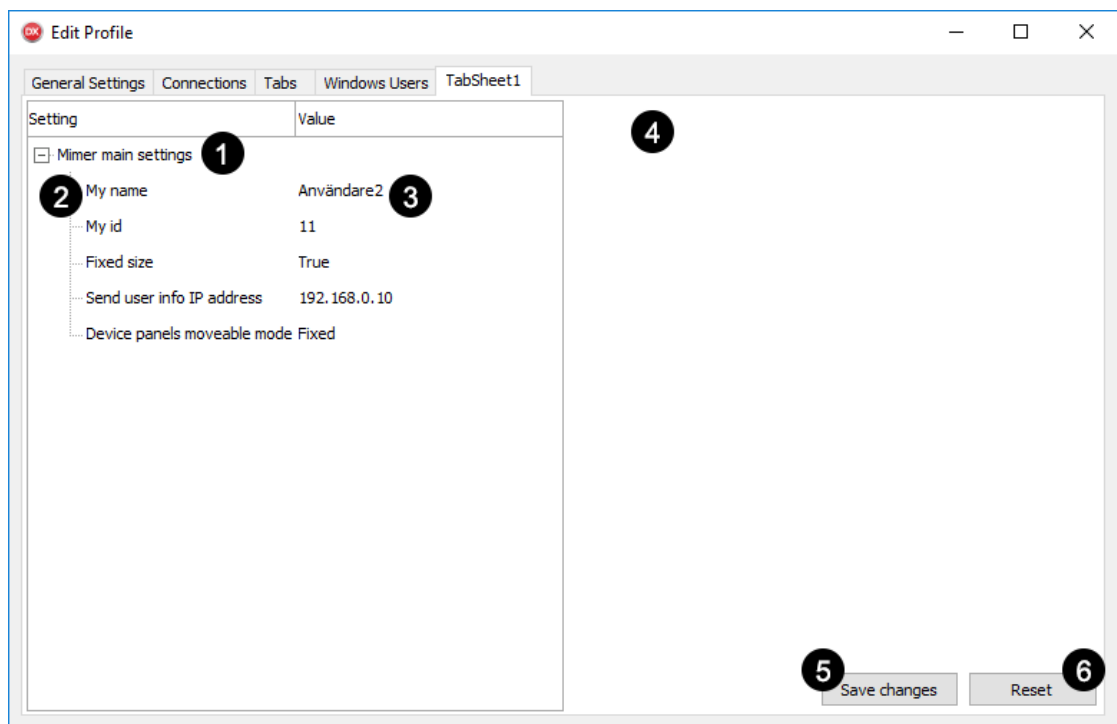
Många implementationer diskuterade i kapitel 4.6 använder ett extra JSON-dokument för att beskriva hur schemat, och modellen schemat representerar ska presenteras i det grafiska användargränssnittet. Det ansågs vara överflödigt att behöva skicka två dokument som båda ska användas vid exakt samma steg i systemet. Det andra alternativet för att utöka funktionalitet hos JSON Schema är att använda egna nyckelord i schemat som inte finns standardiserade i JSON Schema specifikationerna. Det här arbetet krävde nästan ingen utökad funktionalitet hos JSON Scheman, förutom förbättrad funktionalitet hos *enum* vilket diskuteras mer senare. Det gick att generalisera det grafiska användargränssnittet tillräckligt för att hantera alla datatyper som systemet använder sig av, och presentera ett relevant grafiskt användargränssnitt av dem. Nyckelordet *format* kunde erbjuda väldigt hög kontroll av det grafiska användargränssnittet.

5.4.1 Det generella grafiska användargränssnittet

En väldigt enkel lösning vore att implementera det grafiska användargränssnittet *format* enligt kategorin trädstruktur. Som diskuterat i kapitel 4.7 skulle det inte kräva någon djupare analys över hur de komplexa datastrukturerna skulle presenteras, med avvägningen att de primitiva datatypernas presentation begränsas. Att generera ett platt formulär skulle istället kunna begränsa presentationen av de komplexa datatyperna.

Datan som skulle presenteras på det grafiska användargränssnittet i arbetet var varken komplex eller totalt generell. Datan bestod av ett objekt med flera objekt som properties, där de objekten i sin tur var antingen en textsträng, ett heltal eller ett booleskt värde. Datan var som mest tre lager djup. Det gick dessutom att dela in datanoderna i inställningsgrupper och inställningsnoder. Därför kunde både en trädstruktur användas, eller ett platt formulär. Datan som skulle presenteras ansågs av LSE vara för komplex för många användare att förstå utan en ordentlig förklaring av varje inställningsnod. Däremot ansågs inte ett enda platt formulär erbjuda tillräcklig överblick över alla inställningar och skulle inte utnyttja den befintliga grupperingen av inställningar. JSON-typerna *string*, *number*, *integer* och *boolean* ansågs tjäna på att representeras i ett platt formulär medan typerna *object* och *array* tjänade på att representeras i en trädstruktur. Det bästa alternativet ansågs därför vara att kombinera de två ovanstående representationerna. Användargränssnittet presenteras i figur 5.4.

Användargränssnittet som utvecklades blev tvådelat, där ena halvan av gränssnittet användes för att presentera tillgängliga inställningar och inställningsgrupper, samt låta användaren välja en inställning att manipulera. Andra halvan av det grafiska användargränssnittet användes för att presentera en inställning, med beskrivning av inställningen samt möjligheter att ändra värdet på den valda inställningen. Beslutet grundades på att det skulle vara enkelt för användaren att få en överblick över vilka inställningar som fanns tillgängliga, samtidigt som varje inställning skulle vara enkel att förstå och ändra. Ur ett generellt perspektiv används ena halvan åt de komplexa datatyperna medan den andra används för de primitiva datatyperna, där båda typerna



Figur 5.4: Användargränssnittet av administratörsprogrammet

1. Inställningsgrupp
2. Namn på inställning
3. Värde på inställning
4. Formulär för att ställa in inställning
5. Spara-knapp
6. Omstarts-knapp

presenteras på det mest gynnsamma sättet för vardera datatyp. Värdena på inställningarna kan alltid synas utan att en inställning väljs men en inställning måste väljas för att kunna bli manipulerad. Namnet på inställningsgrupperna och inställningarna är frikopplade från deras riktiga namn data-filerna och modellen med hjälp av nyckelordet *title* i JSON Schemat.

Ena halvan av det grafiska användargränssnittet använder en trädstruktur för att presentera tillgängliga inställningar och inställningsgrupper, eller mer generellt representerades JSON-objekt och dess tillgängliga *properties*. Det skulle kunna gå att lägga till grafiska interaktionselement för att erbjuda användaren att lägga och ta bort *properties* från objekt eller element från vektorer, men de JSON-filerna som skulle manipuleras hade bestämd struktur på sina *properties* och vektorer skulle inte hanteras.

Den vänstra halvan tillät inte användaren att manipulera någon *property* (inställning) utan bara välja den. Andra halvan av det grafiska användargränssnittet användes för att presentera den valda inställningen, med beskrivning av inställningen samt möjligheter att ändra värdet på den valda inställningen. Beslutet grundades på att det skulle vara enkelt för användaren att få en överblick över vilka inställningar som fanns tillgängliga, samtidigt som varje inställning skulle vara enkel att förstå och ändra. Värdena på inställningarna kan alltid synas utan att en inställning väljs men en inställning måste väljas för att kunna bli manipulerad. Namnet på inställningsgrupperna och inställningarna är frikopplade från deras riktiga namn data-filerna och modellen med hjälp av nyckelordet *title* i JSON Schemat.

För att förenkla för användaren erbjuds en omstarts-knapp som raderar alla osparade ändringar och startar om formuläret så att formuläret motsvarar inställningarna på servern. Vid varje användarinteraktion, där en användare manipulerar ett värde på formuläret, propageras ändringen till datamodellen vilket i sin tur uppdaterar hela det grafiska användargränssnittet, men ändringen skickas inte till servern. Användaren har erbjudits en spara-knapp och först då förmedlas alla ändringar till servern. Då det grafiska användargränssnittet skulle användas både för data med delvis förutbestämd struktur och inte djupt komplex data ansågs ett extra JSON-dokument för att lägga till extra specifiering av det grafiska användargränssnittet överflödigt och onödigt komplext.

5.4.2 Hur formuläret förhindrar fel

Syftet med JSON-scheman är till stor del att förhindra att inkompatibel data sparas och används i applikationer. Det kan handla om att ett grafiskt användargränssnitt inte är byggt för att presentera viss sorts data, eller att ett helt system upphör att fungera för att systemet inte kunde hantera den sparade datan. Användningen av JSON Scheman i det här arbetet handlar också om att säkerställa att enbart kompatibel data skickas mellan klient och server. En kritisk frågeställning vid utvecklandet av ett användbart grafiskt användargränssnitt är hur felaktiga användarinteraktioner ska hanteras i det grafiska användargränssnittet.

Den enklaste hanteringen av inkompatibel data är att när en användare har givit inkompatibel data, kan ett generiskt felmeddelande presenteras, samt att användaren förhindras från att spara datan före användaren givit kompatibel data. Det förlitar sig på att varje inställning har en tillräckligt utförlig förklaring för hur datan ska formateras, så att användaren kan rätta sina fel utifrån förklaringen. Ett annat alternativ är att förhindra att användaren kan mata in felaktig

data. Det kan exempelvis handla om att användaren bara kan mata in siffror till formuläret, om datan ska formateras som en siffra. Om användaren försöker mata in en bokstav så ignoreras den användarinteraktionen. Det kan kompletteras med förklaringar av korrekt formatering i inställningsbeskrivningen, men att användaren inte ens kan mata in inkompatibel data är väldigt tydligt för användaren. Det perfekta målet vore att när en användare matar in inkompatibel data, ändrar formuläret datan till den närmsta kompatibla datan. Om en användare matar in siffran 300 i ett formulär som bara tillåter siffror upp till siffran 255 så kan formuläret automatiskt ändra värdet till 255. Det kan dock vara svårt att lösa för mer komplexa situationer.

För att erbjuda en grundläggande användbarhet av formuläret presenterades olika sorters inmatningsfält beroende på om typen av inställning var en textsträng, en siffra eller ett booleskt värde. Detta förhindrade att användare kunde mata in data som var av fel typ. Det fanns fler fall där ännu fler olika inmatningsfält kunde presenteras beroende på mer formateringsinformation av datan. När det gick så skapades formuläret så att den inte tillät användaren att mata in inkompatibel data, men i vissa fall visades bara ett felmeddelande vid inmatning av inkompatibel data. Hur olika formateringar specificerat i schemat upprätthölls beskrivs i resten av kapitlet.

5.4.3 Textsträngar och *format* i det grafiska användargränssnittet

När en vald inställning ska vara formaterad som en sträng, presenteras ett inmatningsfält för strängar, som i figur 5.5. JSON Schema erbjuder tre valideringsnyckelord enbart för textsträngar: *maxLength*, *minLength* samt *pattern*. Nyckelorden *maxLength* och *minLength* används för att bestämma längden av textsträngen. Nyckelordet *pattern* bestämmer att textsträngen måste följa ett mönster, som specificeras som ett regular expression enligt ECMA 262 regular expression dialect [18]. Utöver de tre nyckelorden finns det ett fjärde nyckelord som är applicerbart på textsträngar, vilket är *format*. I de senaste JSON Schema specifikationerna är samtliga åtta definierade format enbart applicerbara på textsträngar. Det går att applicera nyckelordet *format* på vilken datatyp som helst, vilket kommer diskuteras kort senare i rapporten. [9]

Om en användare försöker mata in en karaktär i inmatningsfältet, och textsträngen redan är lika lång som den maximala tillåtna längden, ignoreras användarinteraktionen. På det sättet går det inte ens för en användare att mata in inkompatibel data, och försöka förstå hur korrekt formaterad data ska se ut. Detta bör kompletteras med en förklaring i beskrivningen av inställningen, så att användaren förstår varför formuläret hanterar användarinteraktioner på det sättet.

Om en användare försöker ta bort så många karaktärer så att textsträngens längd är kortare än den minsta tillåtna längden, presenteras ett felmeddelande och den senaste tillåtna datan sparas i modellen (se figur 5.6). Det skulle kunna gå att förhindra användaren från att ta bort så många karaktärer, men det skulle kunna upplevas som omständligt av användaren, då det kan finnas fall då användaren vill ta bort hela textsträngen för att byta ut textsträngen mot en helt ny. Om användaren skulle förhindras från att ta bort för många karaktärer, och användaren skulle vilja byta ut hela textsträngen mot en helt annan, skulle användaren behöva mata in den nya samtidigt som den gamla delvis var kvar, vilket inte ansågs vara användarvänligt. Att kombinera det med en maximal längd på textsträngar skulle tvinga användaren att hela tiden förhålla sig inom ett intervall av textsträngslängd.

Om formatet av textsträngen är mer komplext än längd kan *pattern* användas för att specificera

The screenshot shows a window titled "Edit Profile" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). Inside the window, there are several tabs: "General Settings", "Connections", "Tabs", "Windows Users", and "TabSheet1". The "General Settings" tab is active, displaying a table with two columns: "Setting" and "Value".

Setting	Value
<input type="checkbox"/> Mimer main settings	
My name	Användare2
My id	11
Fixed size	True
Send user info IP address	192.168.0.10
Device panels moveable mode	Fixed

To the right of the table, there is a section titled "My name" with a descriptive text: "This is the name that will be shown. Max length is 10 characters. Name has to be capitalized." Below this text is a text input field containing the text "Användare2".

At the bottom right of the window, there are two buttons: "Save changes" and "Reset".

Figur 5.5: Inmatningsfält för textsträngar

The screenshot shows a web application window titled "Edit Profile". It has a tabbed interface with tabs for "General Settings", "Connections", "Tabs", "Windows Users", and "TabSheet1". The "General Settings" tab is active, displaying a table of settings under the heading "Mimer main settings".

Setting	Value
My name	Anv
My id	11
Fixed size	True
Send user info IP address	192.168.0.10
Device panels moveable mode	Fixed

On the right side of the window, there is a section titled "My name" with a description: "This is the name that will be shown. Max length is 10 characters. Name has to be capitalized." Below this is a text input field containing the text "a". A red error message is displayed below the input field: "My name is too short. It has to be at least 3 characters long." At the bottom right of the window, there are two buttons: "Save changes" and "Reset".

Figur 5.6: Felmeddelande vid för kort textsträng

The screenshot shows a window titled 'Edit Profile' with several tabs: 'General Settings', 'Connections', 'Tabs', 'Windows Users', and 'TabSheet1'. The 'General Settings' tab is active, displaying a table with settings and their values.

Setting	Value
Mimer main settings	
My name	Anv
My id	11
Fixed size	True
Send user info IP address	192.168.0.10
Device panels moveable mode	Fixed

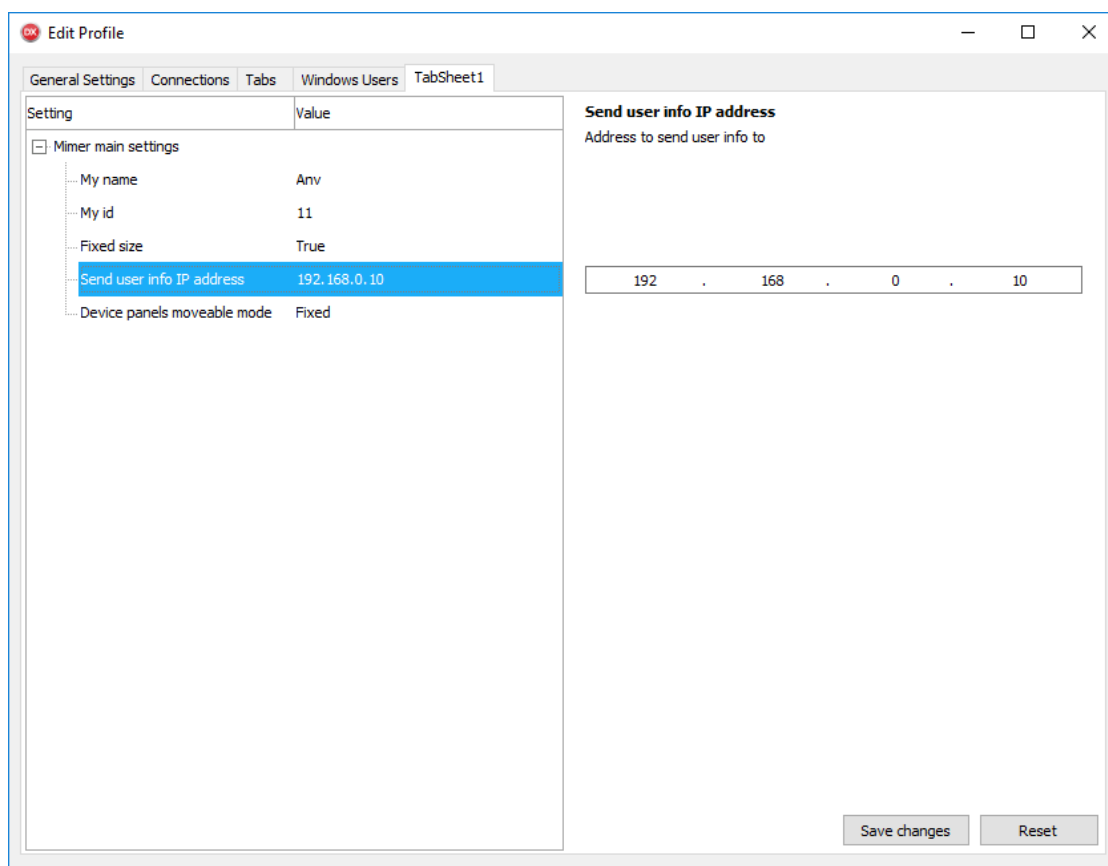
To the right of the table, there is a section titled 'My name' with a description: 'This is the name that will be shown. Max length is 10 characters. Name has to be capitalized.' Below this is a text input field containing the text 'användare'. A red error message below the field states: 'This input is not valid.' At the bottom right of the window are two buttons: 'Save changes' and 'Reset'.

Figur 5.7: Felmeddelande vid för textsträng som inte följer regular expression-mönstret

väldigt komplexa mönster som en textsträng måste upprätthålla. Det kan exempelvis användas för att specificera att en textsträng ska inledas med versal som i figur 5.7. Då regular expression-mönster kan vara väldigt komplexa och oförutsägbara, är det svårt att hitta ett närmsta kompatibelt värde. Därför presenteras ett felmeddelande när textsträngen inte följer mönstret. Då det inte går att veta hur mönstret fungerar på ett användarvänligt sätt, används ett generiskt felmeddelande, vilket innebär att det är viktigt att inställningsbeskrivningen beskriver formatet som textsträngen ska följa.

5.4.4 Nyckelordet *format*

Nyckelordet *pattern* är jättebra för att säkerställa att textsträngar följer ett mer komplext format än enbart längden på textsträngen, men *pattern* kan inte användas för att bestämma hur inmatningsfältet ska se ut. Ibland skulle det passa bättre att presentera ett inmatningsfält som är mer lämpat för en specifik textsträng. Det kan exempelvis passa med ett litet inmatningsfält för korta textsträngar som bara ska vara ett eller några ord, men vid längre texter kanske ett större inmatningsfält behövs. Nyckelordet *format* används både för annotering och validering enligt JSON Schema specifikationerna och får användas för att beskriva egna format på JSON-

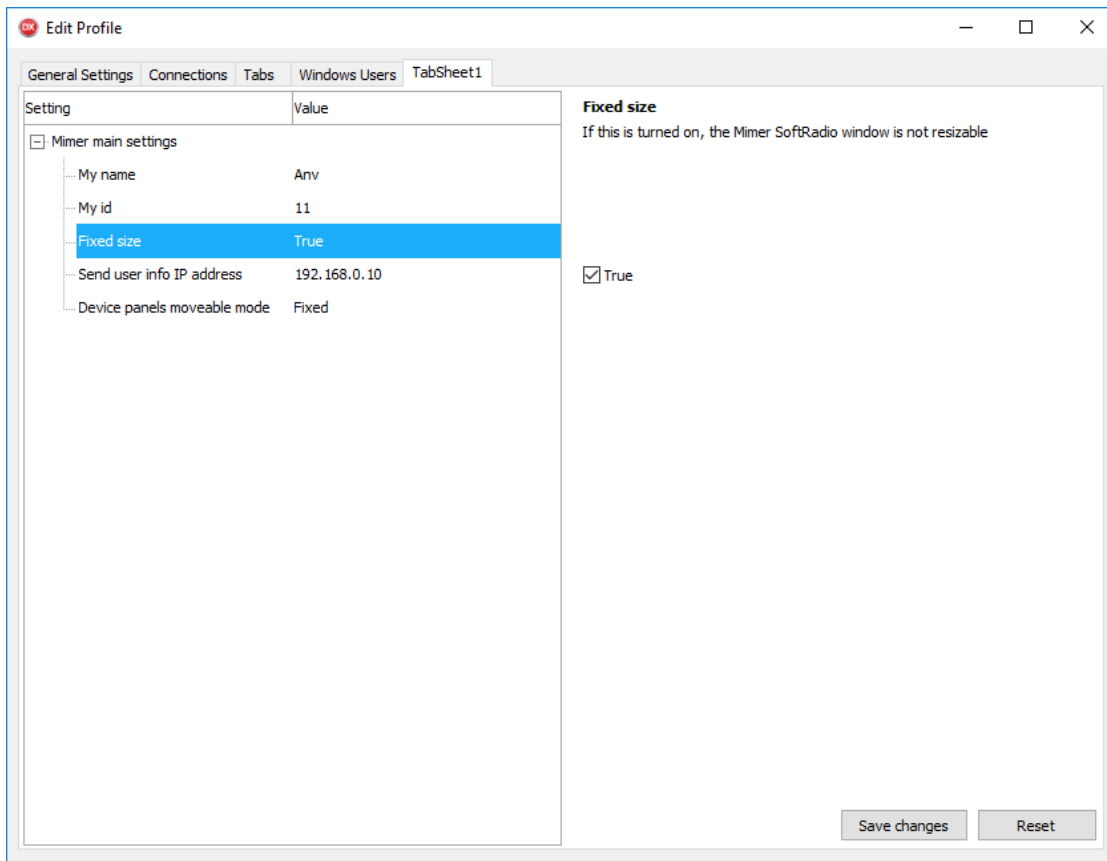


Figur 5.8: Textsträng formaterad som en IPv4-adress

värden, som inte nödvändigtvis måste följa en standard upprättad av IETF, men som måste vara förutbestämd av alla parter i samma system [7].

För validering kan *format* användas när nyckelordet *pattern* inte räcker, eller blir komplext att använda, och för annotering kan det användas för att förklara formatet av ett JSON-värde. Det kan också användas för att annotera för ett grafiskt användargränssnitt, att ett JSON-värde borde presenteras på ett specifikt sätt. Figur 5.8 visar hur *format* används för att beskriva att en textsträng ska vara formaterad som en IPv4-adress. I det fallet kan ett specifikt inmatningsfält erbjudas, som bara tillåter användaren att mata in en IPv4-formaterad textsträng.

Nyckelordet *format* kan användas för andra typer än textsträngar och systemet som utvecklas har stöd både på klienten och servern, för att använda *format* till siffror och booleska värden. När *format* används till textsträngar är det viktigt att poängtera att det borde kompletteras med *pattern* om möjligt. Alla delar av systemet ska vara bakåtkompatibla med tidigare versioner av systemet, för en betydligt lång tidsperiod, och om nya sorters *format* läggs till, kan vissa äldre instanser av klienter vara inkompatibla med den sortens *format*.



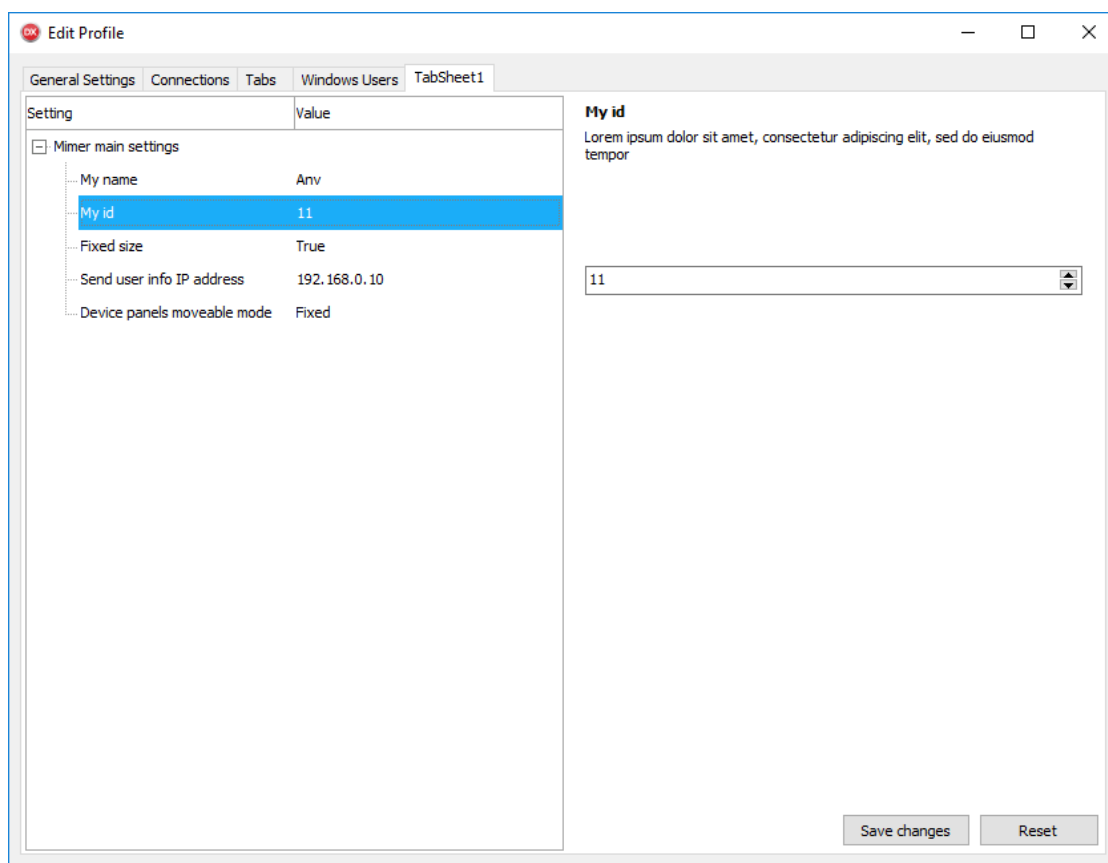
Figur 5.9: Kryssruta för ett booleskt värde

5.4.5 Booleska värden och heltal i det grafiska användargränssnittet

Booleska värden kan bara vara ett av två värden. Inmatningsfältet som valdes för att presentera booleska värden blev en kryssruta, som visas i figur 5.9. Det finns ingen möjlighet för användaren att mata in ett annat värde än de två tillåtna värdena. Om det grafiska användargränssnittet ska presentera något annat värde än *true* eller *false* kan nyckelordet *enum* användas, vilket diskuteras mer senare.

Utöver booleska värden och textsträngar skulle systemet klara av att hantera heltal. Då hanteringen av flyttal fortfarande ansågs vara experimentell och ofärdig, samt att det saknades behov av flyttal så implementerades bara stöd för heltal. Då både klient och server utvecklades med hänsyn till varandra, i samma språk (Delphi), samt att systemet inte var byggt för att hantera flyttal, kunde alla siffror antas vara heltal, och inga oklarheter kring vad som räknas som heltal (se kapitel 2.3.4) behövde hanteras. Om något tal skulle skickas som ett flyttal skulle det talet avrundas och hanteras som ett heltal vid parsningen av JSON-filen.

Heltal presenterades som i figur 5.10. Inmatningsfältet hanterar endast siffror och har dessutom två hjälpknappar för att höja och sänka värdet i steg. Det finns fem valideringsnyckelord enbart för siffror: *multipleOf*, *maximum*, *exclusiveMaximum*, *minimum* samt *exclusiveMinimum*. Nyc-



Figur 5.10: Inmatningsfält för heltal

kelordet *multipleOf* kräver att siffran som valideras ska vara jämnt delbart med värdet beskrivet av *multipleOf*. Användningsområdet för *multipleOf* ansågs inte vara applicerbart för systemet och ignorerades därför. De resterande fyra nyckelorden specificerar ett intervall som siffran måste finna inom. Om en användare försökte mata in ett värde som var utanför intervallet så ändrades värdet till det närmaste kompatibla värdet inom intervallet. [7]

Om stöd för flyttal skulle behövas i framtiden, föreslås att nyckelordet *format* används för att specificera det. Det skulle kunna hanteras på ett sätt som är bakåtkompatibelt med klienter som bara kan hantera heltal, genom att de klienterna hanterar flyttalen som heltal, samtidigt som nyare klienter kan hantera flyttalen som flyttal.

5.4.6 Flervalsoalternativ och *enum* i det grafiska användargränssnittet

Vissa inställningar hade så pass begränsade tillåtna alternativ att bara ett fåtal alternativ på värden var tillåtna. Då användes nyckelordet *enum*. Nyckelordet *enum* används för att specificera en lista med tillåtna värden. Inmatningsfältet som valdes var en lista med alternativ som användaren kan välja, som presenteras i figur 5.11. Det fanns aldrig fall då olika alternativ skulle

The screenshot shows a web application window titled 'Edit Profile'. It has several tabs: 'General Settings', 'Connections', 'Tabs', 'Windows Users', and 'TabSheet1'. The 'General Settings' tab is active. On the left, there is a table with settings:

Setting	Value
<input type="checkbox"/> Mimer main settings	
My name	Anv
My id	11
Fixed size	True
Send user info IP address	192.168.0.10
Device panels moveable mode	False

The 'Device panels moveable mode' row is highlighted in blue. To the right of this row, a dropdown menu is open, showing three options: 'False', 'False', and 'Fixed'. The first two 'False' options are in blue, and the 'Fixed' option is in white. Above the dropdown, the text 'Device panels moveable mode' is displayed, followed by a description: 'This mode decides if the device panels are fixed or moveable.' At the bottom right of the window, there are two buttons: 'Save changes' and 'Reset'.

Figur 5.11: Inmatningsfält för *enum*

vara av olika typer, trots att JSON Schema tillåter det [7].

Enum tillåter inga alternativ för att annotera de förutsatta värdena med metadatainformation som *title* eller *description*. Det innebär att värdena som *enum* specificerar, inte går att koppla till någon annan representation än det faktiska värdet. Ett problem skulle exempelvis kunna uppstå om ett värde bara få ha värdena *1*, *2* eller *3* i en JSON-fil, men användarna ska presenteras med *one*, *two* och *three* som svarsalternativ. React JSON Schema Form bemöter det problemet med att utöka JSON Schema och lägga till nyckelordet *enumNames* som i figur 5.12a [53]. Användandet av det nyckelordet är inkompatibelt med JSON Schema [7]. Dessutom finns det massor av oklarheter över hur fall skulle hanteras om *enumNames* finns men *enum* saknas, eller om *enumNames* och *enum* innehåller olika antal element.

Ett annat förslag som React JSON Schema Form föreslår är användandet av nyckelordet *anyOf*, vilket är helt kompatibelt med JSON Schema specifikationerna men är väldigt verbost och använder *anyOf* på ett sätt som det inte ursprungligen är menat för att användas på [7, 53]. Dessutom kräver deras implementation att nyckelordet *enum* ska användas för att definiera listor innehållande ett konstant värde, vilket inte är syftet med *enum* [7]. Deras förslag visas i figur 5.12b. Jag föreslår användandet av nyckelordet *const* istället, vilket visas i figur 5.12c. Nyckelordet *const* är till för att specificera att en definition bara får ha ett enda konstant värde och är mindre

```
{
  "type": "number",
  "enum": [1, 2, 3],
  "enumNames": ["one", "two", "three"]
}
```

(a) Hur React JSON Schema Form föreslår *enumNames* [53]

```
{
  "type": "number",
  "anyOf": [
    {
      "type": "number",
      "title": "one",
      "enum": [1]
    },
    {
      "type": "number",
      "title": "two",
      "enum": [2]
    },
    {
      "type": "number",
      "title": "three",
      "enum": [3]
    }
  ]
}
```

(b) React JSON Schema Forms JSON Schema-kompatibla alternativ till *enumNames* [53]

```
{
  "type": "number",
  "anyOf": [
    {
      "type": "number",
      "title": "one",
      "const": 1
    },
    {
      "type": "number",
      "title": "two",
      "const": 2
    },
    {
      "type": "number",
      "title": "three",
      "const": 3
    }
  ]
}
```

(c) Ett modernare förslag av React JSON Schema-kompatibla förslag med *const*Figur 5.12: Olika alternativ av annotering av *enum*

än ett år gammalt, vilket kan vara en anledning till att React JSON Schema Form inte använt nyckelordet *const* i sin implementation [7].

Lösningen att använda *anyOf* är helt kompatibelt med JSON Schema men kan introducera många risker för fel, då *anyOf* kan användas för att definiera flera olika generella definitioner, vilket är mycket mer komplext än att använda *enum* för förbestämda värden. Jag föreslår ett fjärde alternativ vilket varken introducerar fler nyckelord, eller förlitar sig på att olika nyckelord förhåller sig korrekt till varandra, men som inte är helt kompatibelt med de nuvarande JSON Schema specifikationerna. Jag föreslår att *enum* används som tidigare för att specificera förutbestämda värden, men att ett element alternativt också kan vara ett objekt med vissa bestämda nyckelord som används för annotering. Figur 5.13a är ett exempel på det formatet. Nyckelorden *title*, *description* och *const* skulle kunna reserveras. Ett problem vore hur en parser skulle kunna skilja på ett objekt som faktiskt innehåller en *property* med namnet *title*, men det skulle kunna vara bestämt att om ett element i listan i *enum* innehåller en *const-property* så kommer eventuella *title* och *description* användas som metadata för värdet i *const*. Om ett objekt med en *property*

```
{
  "type": "number",
  "enum": [
    {
      "title": "one",
      "const": 1
    },
    {
      "title": "two",
      "const": 2
    },
    {
      "title": "three",
      "const": 3
    }
  ]
}
```

(a) Enkelt förslag på utökning av enum

```
{
  "type": "number",
  "enum": [
    {
      "age": 18,
      "name": "Erik"
    },
    {
      "const": {
        "title": "Mr. ",
        "name": "Julius"
      }
    }
  ]
}
```

(b) Förslag på utökning av enum med objekt som använder *title*Figur 5.13: Förslag på utökning av *enums* i JSON Scheman

med namnet *title* ska specificeras i *enum* så räcker det med att placera det objektet i ett objekt under dess *const-property* som i figur 5.13b. Självklart går det dessutom att blanda element som bara är värdet de representerar med annoterade objekt. Arbetet använde den här metoden för att hantera *enums* och flervälsalternativ.

Kapitel 6

Diskussion, slutsats och fortsatt arbete

Arbetet har utförligt utvärderat JSON Schema, hur grafiska användargränssnitt kan genereras från scheman samt vad som saknas i JSON Scheman. Kapitel 6.1 diskuterar problemen som fortfarande finns med att använda JSON Scheman till att generera grafiska användargränssnitt. Kapitel 6.2 föreslår framtida fokusområden att fortsätta arbetet med. Kapitel 6.3 diskuterar arbetet och resultatet av det, samt vilka slutsatser som kan dras efter arbetet.

6.1 Att använda JSON Schema för att generera grafiska användargränssnitt

JSON Schema är huvudsakligen ämnat för att validera data, trots att det erbjuder annoteringsfunktionalitet. Att generera ett grafiskt användargränssnitt från ett JSON Schema är därför inte trivialt. Att validera data kräver bara en uppsättning regler och en kontroll för att utvärdera om datan följer alla regler. Att generera ett interaktivt grafiskt användargränssnitt kräver att det finns ett tydligt sammanhang kring reglerna. Det grafiska användargränssnittet måste förstå hur data skapas för att passa in i reglerna, och ibland räcker inte regler för att förklara hur data ska skapas. Ett exempel på det är nyckelordet *pattern* som används för att testa en textsträng mot ett ibland komplext mönster. Mönstret ger ingen enkel förklaring till hur en korrekt textsträng ser ut, utan ger bara en komplex uppsättning regler.

Nyckelorden *allOf*, *anyOf*, *oneOf* och *not* är ytterligare exempel på nyckelord som passar för att ställa upp en komplex uppsättning valideringsregler, men som försvårar för ett grafiskt användargränssnitt att försöka presentera sammanhanget av datan, och vilken data som är korrekt. Det är inte helt trivialt att presentera ett inmatningsfält för en datapunkt som får innehålla en (*oneOf*) textsträng eller ett booleskt värde, men inte (*not*) strängen "hello world".

Nyckelordet *enum* saknar annoteringsmöjligheter för de förutbestämda alternativen i enumvek-

torn. Att introducera en till vektor som är frikopplad från *enum* med annoteringar som ska tillhöra elementen i enumvektorn är ett alternativ som inte borde rekommenderas. Det går att skapa ett JSON Schema som är felaktigt på sättet att det felaktigt beskriver datan det ska beskriva, men att skriva ett schema som inte går att tolka, eller som kan tolkas på olika sätt ska inte vara möjligt. Pezoa, Reutter, Suarez, Ugarte och Vrgoč utvärderar vissa JSON Scheman som kan tolkas olika av olika validerare. Ett av deras tester testade hur validerare tolkar cykliska referenser, vilket är tillåtet enligt JSON Schema men som är otolkbart av en validerare [1]. Utöver det exemplet känner jag inte till några andra sätt att definiera ett korrekt JSON Schema som inte går att tolka. Om en frikopplad vektor lades till där varje element skulle tillhöra ett element i enumvektorn, skulle ytterligare ett sätt att skapa felaktiga JSON Scheman introduceras, om inte strikta specifikationer kring antalet element skulle specificeras.

Alternativet som jag rekommenderar och som projektet introducerar är att elementen i enumvektorn utökades med annoteringsfunktionalitet. Vilka annoteringar som hör till vilka enumvektorelement skulle inte kunna tolkas på mer än ett sätt, och det skulle inte begränsa nuvarande funktionalitet. Att kunna annotera enumvektorelementen är viktigt för att kunna generera bra grafiska användargränssnitt, där det grafiska användargränssnittet är frikopplat från datamodellen.

6.2 Fortsatt arbete

Ett intressant område för fortsatt arbete skulle vara att försöka generalisera lösningen som det här arbetet presenterade. Den vänstra trädstrukturen skulle kunna vara mer komplex med utökad funktionalitet, för att hantera objekt och vektorer, medan den högra sidan skulle kunna hantera textsträngar, siffror och booleska värden. Noderna i den vänstra trädstrukturen skulle kunna tydligare delas upp i objektnoder för att innehålla flera fält, och inställningsnoder eller lövnoder för att innehålla en enda enkel datastruktur. Dessutom skulle vissa noder kunna innehålla vektorer, med möjligheten att lägga till, ta bort och byta plats på element i vektorn. En svårighet skulle kunna vara hur ett element som får vara en av flera datatyper skulle hanteras.

Det här arbetet utvärderar inte utförligt användbarheten hos de olika typerna av grafiska användargränssnitt. Arbetet föreslår enbart en metod för att arbeta med generering av grafiska användargränssnitt som är beroende av ett JSON Schema. De olika typerna av grafiska användargränssnitt borde utvärderas i kvantitativa studier för att skapa en bättre förståelse för när de olika typerna av grafiska användargränssnitt ska borde användas.

Ett annat område som borde arbetas på är att försöka erbjuda all funktionalitet som tidigare implementationer av grafiskt användargränssnittsgenerering erbjuder, utan att använda fler beskrivande dokument än ett JSON Schema eller utöka schemat med extra nyckelord. Nyckelordet *format* skulle kunna användas mycket mer. Det skulle kanske kunna gå att lägga till ett generellt nyckelord som kan erbjuda valfri extra information som komplettering till *format*. Det nyckelordet skulle inte behöva hantera validering, utan skulle bara användas för att lägga till information som *format* inte täcker. Ett annat alternativ vore att tillåta *format* att innehålla ett objekt istället för bara en textsträng.

Vissa tidigare implementationer av genererade grafiska användargränssnitt, som exempelvis Re-

act JSON Schema Form [53], erbjuder stöd för *conditional schema dependencies* som implementerats på olika sätt men oftast inkompatibelt med JSON Schema specifikationerna. Det betyder att vissa delar av det grafiska användargränssnittet bara visas om någon eller några datapunkter uppfyller vissa krav. Kraven brukar vara strängare än valideringskraven för hela formuläret. Det kan exempelvis handla om att ett inmatningsfält representerar ett booleskt värde som ställer frågan “*Har du någonsin köpt en telefon*”, och om användaren svarar ja så presenteras frågan “*Hur många telefoner har du köpt?*” vilket är en fråga som bara är relevant om användaren svarade ja på första frågan. Nyckelorden *if*, *then* och *else* lades nyss till JSON Schema specifikationerna på den senaste versionen, vilket kan förklara att ingen av implementationerna har implementerat de än [7]. Det saknas arbete som utvärderar användbarheten hos de tre nyckelorden, vilket skulle kunna utvärdera om det finns brister med att använda dem till att generera ett grafiskt användargränssnitt eller om de är färdiga tillägg till JSON Schema.

6.3 Slutsats

Arbetet lyckades med att generera ett grafiskt användargränssnitt på en skrivbordsapplikation, för att låta en användare manipulera data, som beskrevs med ett JSON Schema. Arbetet hantlade en förutbestämd struktur på JSON Scheman och JSON-dokument men har också föreslagit hur implementationen skulle kunna generaliseras. LSE kan enkelt utveckla Mimer SoftRadio till sina operatörsdatorer utan att behöva bry sig mycket om att synkronisera uppdateringar mellan administratörsprogrammen och operatörsdatorerna hos alla sina kunder. Administratörerna har erbjudits ett grafiskt användargränssnitt som är enkelt att använda, som tydligt förklarar alla möjliga inställningar och som förklarar hur inställningarna ska ställas in för att vara kompatibla med systemet.

JSON Schema fungerar utmärkt för validering men har brister när det gäller annotering. Det är förväntat i och med att JSON Schema inte är en färdig specifikation. De största bidragande faktorerna vore om *format* utökades med att bidra mer generell annoteringsinformation än en textsträng, helst med *format* som objekt, och utökade annoteringsmöjligheter av enumvektorelement

Litteratur

- [1] F. Pezoa, J. L. Reutter, F. Suarez, M. Ugarte och D. Vrgoč, “Foundations of JSON Schema”, i *Proceedings of the 25th International Conference on World Wide Web - WWW ’16*, New York, New York, USA: ACM Press, 2016, s. 263–273, ISBN: 9781450341431. DOI: 10.1145/2872427.2883029. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2872427.2883029>.
- [2] I. ECMA, “The JSON Data Interchange Format”, *ECMA International*, årg. 1st Editio, nr October, s. 8, 2013, ISSN: 2070-1721. DOI: 10.17487/rfc7158. arXiv: arXiv:1011.1669v3. URL: <http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-404.htm><http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-404.pdf>.
- [3] H. Andrews, A. Wright och Internet Engineering Task Force, “draft-handrews-json-schema-01”, tekn. rapport, 2018. URL: <https://tools.ietf.org/html/draft-handrews-json-schema-01>.
- [4] R. Ehne, *LS Elektronik About - LS Elektronik*. URL: <http://www.lse.se/about/> (hämtad 2018-04-06).
- [5] A. Håkansson, “Portal of Research Methods and Methodologies for Research Projects and Degree Projects”, i *Proceedings of the International Conference on Frontiers in Education : Computer Science and Computer Engineering FECS’13*, KTH, Software och Computer systems, SCS, CSREA Press U.S.A, 2013, s. 67–73, ISBN: 1-60132-243-7. URL: <http://www.world-academy-of-science.org/worldcomp13/ws>.
- [6] The JSON Schema organisation, *Specification | JSON Schema*. URL: <http://json-schema.org/specification.html> (hämtad 2018-06-24).
- [7] H. Andrews, A. Wright och Internet Engineering Task Force, “draft-handrews-json-schema-validation-01”, tekn. rapport, 2018. URL: <https://tools.ietf.org/html/draft-handrews-json-schema-validation-01>.
- [8] —, “draft-handrews-json-schema-hyperschema-01”, tekn. rapport, 2018. URL: <https://tools.ietf.org/html/draft-handrews-json-schema-hyperschema-01>.
- [9] —, “draft-wright-json-schema-validation-01”, tekn. rapport, 2017. URL: <https://tools.ietf.org/html/draft-wright-json-schema-validation-01>.
- [10] Embarcadero, *Internal Data Formats (Delphi) - RAD Studio*. URL: [http://docwiki.embarcadero.com/RADStudio/Tokyo/en/Internal{\\}Data{\\}Formats{\\}\(Delphi\){\\#}Enumerated{\\}Types](http://docwiki.embarcadero.com/RADStudio/Tokyo/en/Internal{\\}Data{\\}Formats{\\}(Delphi){\\#}Enumerated{\\}Types) (hämtad 2018-05-07).

- [11] Oracle, *Primitive Data Types (The Java™ Tutorials > Learning the Java Language > Language Basics)*. URL: <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/java/nutsandbolts/datatypes.html> (hämtad 2018-05-07).
- [12] Microsoft, *C# Types and Variables - A tour of the C# language | Microsoft Docs*. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/tour-of-csharp/types-and-variables> (hämtad 2018-05-07).
- [13] GNU och Free Software Foundation, *The GNU C++ Library - Chapter 4. Support*. URL: <https://gcc.gnu.org/onlinedocs/libstdc++/manual/support.html{\#}std.support.types> (hämtad 2018-05-07).
- [14] —, *The GNU C Reference Manual*. URL: <https://www.gnu.org/software/gnu-c-manual/gnu-c-manual.html{\#}Primitive-Types> (hämtad 2018-05-07).
- [15] J. Britt och Neurogami, *Class: Float (Ruby 2.5.0)*. URL: <http://ruby-doc.org/core-2.5.0/Float.html> (hämtad 2018-05-07).
- [16] —, *Class: Integer (Ruby 2.5.0)*. URL: <http://ruby-doc.org/core-2.5.0/Integer.html> (hämtad 2018-05-07).
- [17] Python Software Foundation, *2. Lexical analysis — Python 3.6.5 documentation*, 2018. URL: https://docs.python.org/3.6/reference/lexical{_}analysis.html{\#}identifiers (hämtad 2018-05-07).
- [18] Ecma International, “ECMAScript ® 2017 Language Specification”, 2017. URL: <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/Ecma-262.pdf>.
- [19] Space Telescope Science Institute, *Numeric types — Understanding JSON Schema 1.0 documentation*, 2016. URL: <https://spacetelescope.github.io/understanding-json-schema/reference/numeric.html> (hämtad 2018-05-07).
- [20] P. Cederqvist, *multipleOf and floating point rounding errors · Issue #312 · json-schema-org/json-schema-spec*, 2017. URL: <https://github.com/json-schema-org/json-schema-spec/issues/312> (hämtad 2018-05-07).
- [21] E. Poberezkin, *validation: format/Exclusive/(Minimum/Maximum) · Issue #116 · json-schema-org/json-schema-spec*. URL: <https://github.com/json-schema-org/json-schema-spec/issues/116> (hämtad 2018-05-07).
- [22] M. Faassen, *better support for decimals encoded as strings · Issue #361 · json-schema-org/json-schema-spec*. URL: <https://github.com/json-schema-org/json-schema-spec/issues/361> (hämtad 2018-05-07).
- [23] L. Hilaiel, *Orderly - docs.md*. URL: <https://github.com/lloyd/orderly/blob/master/docs.md> (hämtad 2018-05-16).
- [24] The JSON Schema organisation, *Implementations | JSON Schema*. URL: <http://json-schema.org/implementations> (hämtad 2018-04-18).
- [25] Snowplow, *Schema Guru*. URL: <https://github.com/snowplow/schema-guru> (hämtad 2018-04-20).
- [26] Mads Kristensen, *JSON Schema Generator - Visual Studio Marketplace*. URL: <https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=MadsKristensen.JSONSchemaGenerator> (hämtad 2018-04-20).
- [27] A. Romanovich, *JSL*. URL: <https://github.com/aromanovich/jsl> (hämtad 2018-04-20).
- [28] Newtonsoft, *Json.NET Schema - Newtonsoft*. URL: <https://www.newtonsoft.com/jsonschema> (hämtad 2018-04-20).

- [29] R. Suter, *NJsonSchema for .NET*. URL: <https://github.com/RSuter/NJsonSchema> (hämtad 2018-04-20).
- [30] Y. El-Dardiry, *typescript-json-schema*. URL: <https://github.com/YousefED/typescript-json-schema> (hämtad 2018-04-20).
- [31] L. Bovet och Swisshpush, *Typson*. URL: <https://github.com/lbovet/typson> (hämtad 2018-04-20).
- [32] Limenius, *Liform*. URL: <https://github.com/Limenius/liform> (hämtad 2018-04-20).
- [33] P. Tomlinson, *APIAddIn*. URL: <https://github.com/bayeslife/api-add-in> (hämtad 2018-04-20).
- [34] Schlothauer & Wauer GmbH, *DJsonSchema*. URL: <https://github.com/schlothauer-wauer/DJsonSchema> (hämtad 2018-04-20).
- [35] —, *jsonCodeGen*. URL: <https://github.com/schlothauer-wauer/jsoncodegen> (hämtad 2018-04-20).
- [36] M. Kowalczyk och T. Baumann, *aeson-schema*. URL: <https://github.com/Fuuzetsu/aeson-schema> (hämtad 2018-04-20).
- [37] Google, *AutoParse*. URL: <https://github.com/google/autoparse> (hämtad 2018-04-20).
- [38] Tundra, *json-schema-codegen*. URL: <https://github.com/VoxSupplyChain/json-schema-codegen> (hämtad 2018-04-20).
- [39] A. Fenton, *Argus*. URL: <https://github.com/aishfenton/argus> (hämtad 2018-04-20).
- [40] Glimpse I/O Inc., *Bric-à-brac*. URL: <https://github.com/glimpseio/BricBrac> (hämtad 2018-04-20).
- [41] andy Zhangtao, *gojsonschema*. URL: <https://github.com/andy-zhangtao/gojsonschema> (hämtad 2018-04-20).
- [42] Q. inc., *jsonschema*. URL: <https://github.com/qri-io/jsonschema> (hämtad 2018-04-20).
- [43] Gitana Software Inc., *Alpaca Forms - Easy Forms for jQuery*. URL: <http://www.alpacajs.org/> (hämtad 2018-04-24).
- [44] Textalk, *Angular Schema Form*. URL: <http://schemaform.io/> (hämtad 2018-04-24).
- [45] Makina Corpus, *Angular2 Schema Form*. URL: <https://github.com/makinacorporus/angular2-schema-form> (hämtad 2018-04-24).
- [46] Jeremy Dorn, *JSON Editor*. URL: <https://github.com/json-editor/json-editor> (hämtad 2018-04-24).
- [47] Joshfire, *JSON Form*. URL: <https://github.com/joshfire/jsonform> (hämtad 2018-04-24).
- [48] Brutusin.org, *Json Forms*. URL: <https://github.com/brutusin/json-forms> (hämtad 2018-04-24).
- [49] EclipseSource, *JSON Forms*. URL: <https://jsonforms.io/> (hämtad 2018-04-24).
- [50] Jsonary-js, *Jsonary*. URL: <https://github.com/jsonary-js/jsonary> (hämtad 2018-05-15).
- [51] Nacho Martín, *liform-react*. URL: <https://github.com/Limenius/liform-react> (hämtad 2018-04-24).
- [52] Metawidget, *Metawidget*. URL: <http://metawidget.org/> (hämtad 2018-04-24).
- [53] Mozilla Services, *react-jsonschema-form*. URL: <https://github.com/mozilla-services/react-jsonschema-form> (hämtad 2018-04-24).

- [54] Network New Technologies Inc., *React Schema Form*. URL: <https://github.com/networknt/react-schema-form> (hämtad 2018-04-24).
- [55] Jackwootton, *JSON Schema Tool*. URL: <https://www.jsonschema.net/> (hämtad 2018-04-25).
- [56] Embarcadero, *Attributes (RTTI) - RAD Studio*, 2016. URL: http://docwiki.embarcadero.com/RADStudio/Tokyo/en/Attributes{_}Index (hämtad 2018-05-02).
- [57] J. de Jong, *JSON Editor online*, 2018. URL: <https://jsoneditoronline.org/> (hämtad 2018-05-04).

Bilaga A

API-beskrivning