

ENVISIoN teknisk dokumentation

© 2017 - Josef Adamsson, Robert Cranston, David Hartman, Denise Härnström, Fredrik Segerhammar. *(Teknisk dokumentation - release 1)*
© 2018 - Anders Rehult, Andreas Kempe, Marian Brännvall, Viktor Bernholtz. *(Teknisk dokumentation - release 2)*
© 2019 - Linda Le, Abdullatif Ismail, Anton Hjert, Lloyd Kizito and Jesper Ericsson. *(Teknisk dokumentation - release 3)*
© 2020 - Alexander Vevstad, Amanda Aasa, Amanda Svennblad, Daniel Thomas, Lina Larsson and Olav Berg. *(Teknisk dokumentation - release 4)*
© 2017 – 2019 - Rickard Armiento, Johan Jönsson
© 2020 - Rickard Armiento, Joel Davidsson

Innehåll

1	Bakgrund	2
1.1	Definitioner	3
2	Översikt av systemet	5
2.1	Ingående delsystem	5
2.2	Ingående delsystem, mer avancerat	6
3	Parsersystemet	7
3.1	Bakgrundskunskap	7
3.1.1	VASP	7
3.1.2	HDF5-format	10
3.2	ENVISIoNs HDF5-fil	11
3.3	Skrivning till HDF5-fil	12
3.4	Inläsning av VASP-filer	16
3.4.1	Bandstrukturparser	16
3.4.2	Incarparser	16
3.4.3	Volyparser	17
3.4.4	Tillståndstäthetsparser	17
3.4.5	Enhetscellsparser	18
3.4.6	Parkorrelationsfunktionsparser	18
3.4.7	Fermi-yta parser	18
3.4.8	parse_all	19
3.5	Testning	19

4	Visualiseringssystemet	19
4.1	Nätverk	19
4.1.1	Parkorrelationsfunktionen	19
4.1.2	Bandstruktur	21
4.1.3	Tillståndstäthet	22
4.1.4	Enhetscell	23
4.1.5	Fermi-yta	24
4.1.6	Elektrontäthet	25
4.2	NetworkHandlers	26
4.2.1	VolumeNetworkHandler	26
4.2.2	UnitcellNetworkHandler	28
4.2.3	ChargeNetworkHandler	29
4.2.4	ELFNetworkHandler	30
4.2.5	ParchgNetworkHandler	30
4.2.6	LinePlotNetworkHandler	31
4.2.7	BandstructureNetworkHandler	31
4.2.8	DOSNetworkHandler	32
4.2.9	PCFNetworkHandler	32
4.2.10	FermiSurfaceNetworkHandler	32
4.3	Datastrukturer	32
4.3.1	Point	32
4.3.2	Function	32
4.4	Processorer	32
4.4.1	Kristallstruktur	33
4.4.2	HDF5	34
4.4.3	2D	36
4.4.4	Fermi	39
4.5	Properties och widgets	40
4.5.1	IntVectorproperty	40
4.5.2	IntVectorPropertyWidget	40
5	Envisionpy	41
5.1	EnvisionMain	41
5.1.1	handle_vis_request	41
5.1.2	handle_parse_request	41
6	GUI-systemet	42
6.1	Kommunikation med envisionpy	42
6.1.1	JSON-paket specifikation	43
6.2	Utseende	43
7	Appendix A - ENVISIoNs HDF5-filstruktur	43

1 Bakgrund

Elektronstrukturberäkningar är ett viktigt verktyg inom teoretisk fysik för att förstå hur materials och molekylers egenskaper kan härledas från kvantmekaniska effekter. För att förstå dessa egenskaper är det viktigt att kunna analysera data från beräkningarna, något som förenklas och görs möjligt genom visualisering. ENVISIoN är en kraftfull

mjukvara som är avsedd för visualisering av data från beräkningsprogram som VASP. Mjukvaran bygger på forskningsverktyget Inviwo, utvecklad av Visualiseringscenter i Norrköping. Idén med ENVISIoN är att underlätta visualiseringarna från kvantmekaniska beräkningar. Det ska vara enkelt och smidigt att visualisera önskade och relevanta egenskaper hos olika system bestående av atomer. Mjukvaran tillgängliggör olika reglage och knappar för att på ett interaktivt sätt kunna ändra dess egenskaper. I följande dokument kommer de tekniska aspekterna av hur systemet är implementerat att redovisas.

1.1 Definitioner

- **Inviwo:** Ett forskningsverktyg som utvecklas vid Linköpings universitet och ger användaren möjlighet att styra visualisering med hjälp av programmering i Python3 eller grafiskt. Det tillhandahåller även användargränssnitt för interaktiv visualisering [[Inviwo](#)].
- **Processor:** Benämningen på ett funktionsblock i Inviwos nätverksredigerare som tar emot indata och producerar utdata. I detta dokument avser en processor alltid en `inviwoprocessor` om inte annat anges.
- **Canvas:** En processor i Inviwo som ritar upp en bild i ett fönster.
- **Data frame:** En tabell med lagrad data i form av tal. Varje kolumn i tabellen har ett specifikt namn.
- **Transferfunktion:** Begrepp inom volymrendering för den funktion som används för att översätta volymdensiteter till en färg.
- **Transferfunktionspunkt:** Ett värde i transferfunktionen som definierar en färg vid ett speciellt densitetsvärde.
- **Port:** Kanal som processorer använder för att utbyta data av specifika typer.
- **Property:** En inställning i en `Inviwoprocessor`.
- **Länkar:** Kanaler som processorer använder för att länka samman properties av samma typ så att deras tillstånd synkroniseras.
- **Nätverk:** Ett antal processorer sammankopplade via portar och länkar.
- **Volymdata:** Tredimensionell data som beskriver en volym.
- **API:** Application Programming Interface, en specifikation av hur olika applikationer kan användas och kommunicera med en specifik programvara. Detta utgörs oftast av ett dynamiskt länkat bibliotek [[API](#)].
- **BSD2:** En licens för öppen källkod [[BSD2](#)].
- **C++:** Ett programmeringsspråk [[Cpp](#)]. I Inviwo används C++ för att skriva programkod till processorer.
- **Python3:** Ett programmeringsspråk [[Python](#), [Python3](#)]. I Inviwo används Python3 för att knyta samman processorer.

- **Fermienergi:** Energinivån där antalet tillstånd som har en energi lägre än Fermienergin är lika med antalet elektroner i systemet [[Fermi-energy](#)].
- **Git:** Ett decentraliserat versionshanteringssystem [[Git](#)].
- **GUI:** (Graphical User Interface) Ett grafiskt användargränssnitt [[GUI](#)].
- **PyQT:** En python-modul för GUI-programmering [[PyQT](#)].
- **wxPython:** En samling av python-moduler för GUI-programmering [[wxPython](#)].
- **PKF** En förkortning på Parkorrelationsfunktionen. Vilket ibland slarvigt kan anges synonymt som RDF, Radial Distribution Function [[RadialDistributionFunction](#)].
- **HDF5:** Ett filformat som kan hantera stora mängder data. Alla HDF5-objekt har en rotgrupp som äger alla andra objekt i datastrukturen. Denna grupp innehåller i sin tur all övrig data i form av andra grupper, länkar till andra grupper eller dataset. Dataset innehåller rådata av något slag. Rådata kan i sammanhanget vara bilder, utdata från beräkningar, programdata, etc. [[HDFGroup](#), [HDFGroup2](#)].
De övriga objektstyperna går inte igenom i detalj i detta dokument, men finns väl beskrivna i *High Level Introduction to HDF5* [[HDFGroup2](#)].
- **VASP:** The Vienna Ab initio simulation package, ett program för modellering på atomnivå, för t.ex. elektronstrukturbereäkningar och kvantmekanisk molekylodynamik [[VASP](#)].
- **Parser:** Ett system som översätter en viss typ av filer till en annan typ av filer. I detta fall sker översättningen från textfiler, genererat i beräkningsprogrammet VASP, till HDF5-filer.
- **Parsning:** Översättning utförd av parsern.
- **Mesh** - Beskriver ett geometriskt objekt som en uppsättning av ändliga element.
- **Array** - Ett dataobjekt som fungerar som behållare för element av samma typ [[WhatIsArray](#)].
- **UNIX** - Benämning av en grupp operativsystem som härstammar från UNIX System from Bell Labs [[WhatIsUNIX](#)].

2 Översikt av systemet

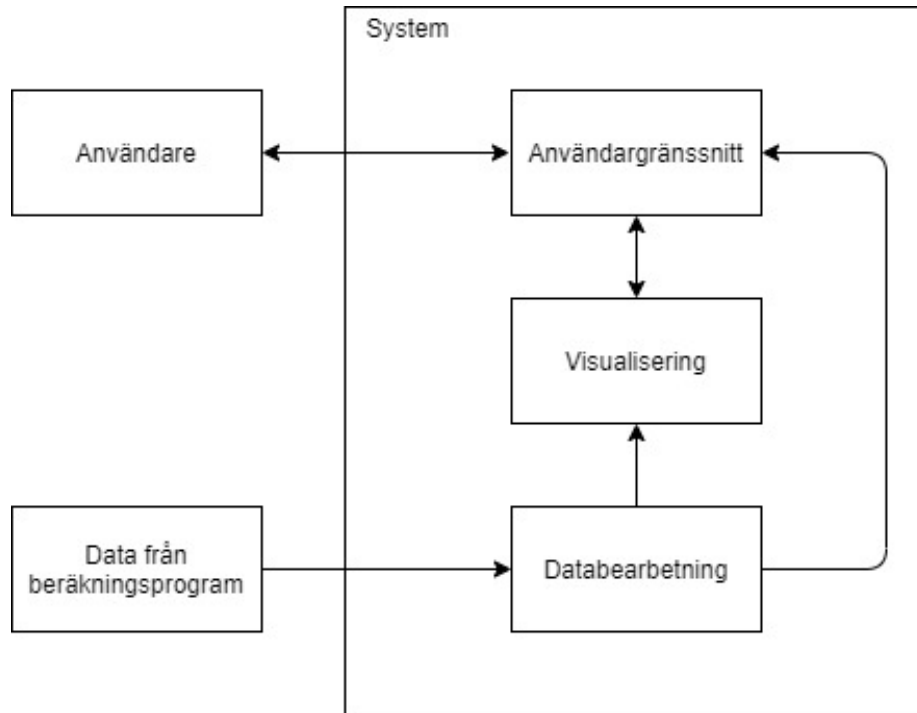


Figure 1: Enkel skiss över systemet

Den produkt som utvecklas är ett verktyg för att visualisera viktiga egenskaper från elektronstrukturberäkningar. Systemet skall bestå av ett användargränssnitt där användaren får välja vilka beräkningsresultat som skall konverteras och visualiseras.

I figur 1 visas en grov systemskiss med de olika delsystem som ingår. Systemet kan grovt delas upp i tre olika delar. Ett system för databearbetning som parsar filer från VASP, ett system för att visualisera det som parsas i tidigare nämnt system, och ett GUI-system vilket användaren interagerar med visualiseringen via.

2.1 Ingående delsystem

Systemet för elektronvisualisering består i huvudsak av tre delar. Dels består systemet av en databearbetningsdel där parsning av textfiler genererade från beräkningsprogrammet VASP skall översättas till det, med vår mjukvara, kompatibla filformatet HDF5.

När denna filkonvertering är klar så ska de genererade filerna behandlas i ett visualiseringssystem för att skapa önskade visualiseringar. Visualiseringen i Inviwo byggs upp av processorer vilka datan låts flöda igenom för att skapa önskat slutresultat.

Den sista delen av systemet är det som möter användaren, det grafiska användargränssnittet, GUI:t. Genom detta system skall tillgång till att starta och göra ändringar i visualiseringen ges. Målet är att kunna styra hela systemet från GUI:t som en fristående del från de två första delsystemen.

2.2 Ingående delsystem, mer avancerat

Detta kapitel beskriver översiktligt delsystemens relationer och kommunikation med varandra. Det är menat som en sammanfattning av det som kan läsas mer utförligt i kapitlen om de specifika systemen. För att läsa detta rekommenderas en allafall grundläggande kunskap om hur inwiwo de olika delsystemen fungerar.

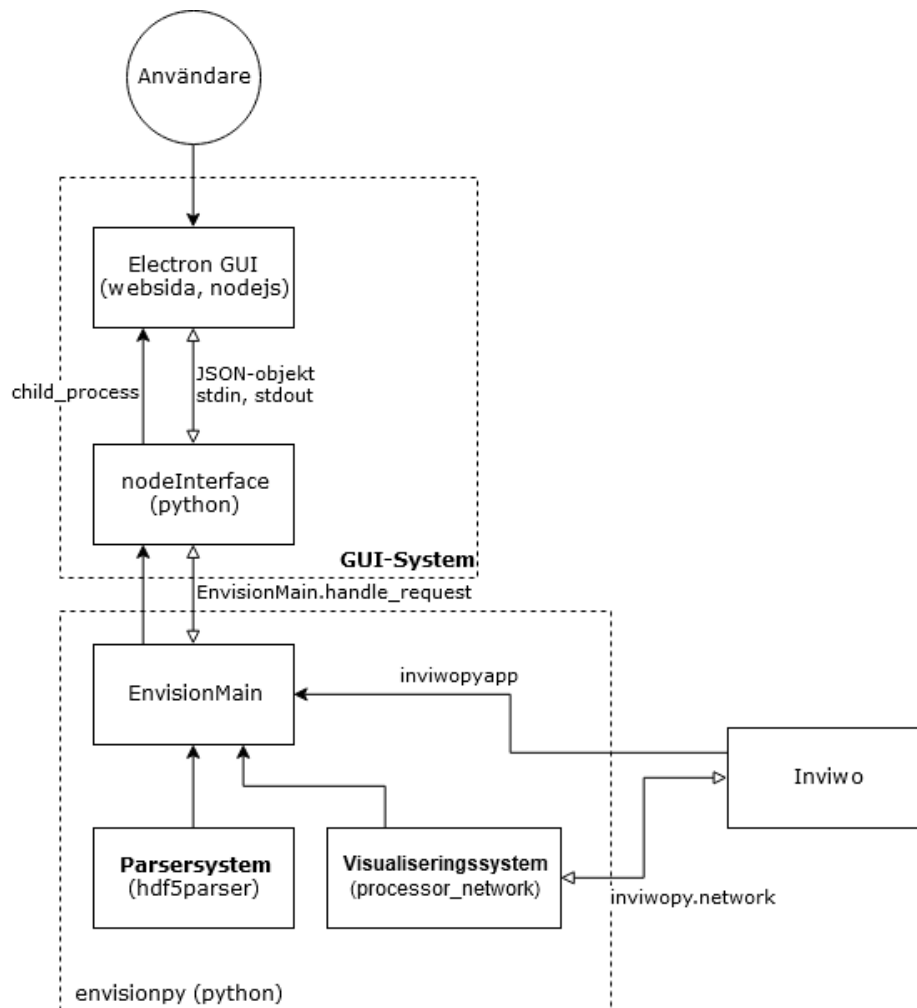


Figure 2: Skiss över delsystemens relationer till varandra.

Parsersystemet och visualiseringssystemet ingår i en pythonmodul kallad *envisonpy*. Se 5 för mer detaljerad beskrivning. Denna modul kan importeras från pythonskript för att få tillgång till ENVISIoNs funktionalitet. Envisonpy har också en klass *EnvisionMain* (se 5.1 för mer ingående). *EnvisionMain* har som uppgift att vara ett gränssnitt där *envisonpy* kan styras från ett utomliggande pythonskript. *EnvisionMain* initierar en instans av *Inviwo*, genom pythonmodulerna *inviwopyapp* och *inviwopy*, som den kör i bakgrunden. Detta gör att *Inviwo*s funktioner kan användas utan att *Inviwo*s gränssnitt visas.

EnvisionMain-klassen har funktioner för att starta parsning genom att köra funktioner från *envisionpy.hdf5parser* (parsning beskrivet i 3), och starta visualiseringar genom att initiera och styra *NetworkHandler*-klasser (se 4, 4.2).

Gränssnittet är inte en del av *envisionpy*, utan är ett eget relativt isolerat system. Gränssnittet bygger på *electron* och *nodejs* och är skrivet med HTML, CSS, och JavaScript. Se 6 för mer detaljerad information.

När systemet startas så laddas först den websida som är gränssnittet som användaren ser. Från JavaScript-koden startas sedan, med hjälp av *node*-modulen *child_process*, en *pythonprocess* som kör skriptet *nodeInterface.py*. Detta skript initierar ett *EnvisionMain*-objekt. Det tar också hand om kommunikation mellan javascript och pythonprocesserna. Javascript- och pythonprocesserna kommunicerar med varandra genom att läsa och skriva JSON-object i pythonprocessens *stdin* och *stdout*.

Gränssnittet kan alltså nu begära att *EnvisionMain* ska utföra olika funktioner genom att skicka JSON-paket till den *pythonprocess* som startats.

3 Parsersystemet

Parsersystemets uppgift är att omvandla information från VASP-filer till data i HDF5-format, som visualiseringssystemet kan använda. Parsersystemet är det delsystem i ENVISIoN som ser till att avläsa korrekt data från VASP-filer och spara denna data i en lämplig HDF5-filstruktur. Följande kapitel beskriver hur parsersystemet har implementerats, samt redogör bakgrundskunskaper om HDF5 och VASP.

Parsersystemet är implementerat i pythonkod och ligger under *envisionpy*-modulen i *envisionpy.hdf5parser*.

3.1 Bakgrundskunskap

För förståelse över hur parsersystemet implementerats krävs det lite bakgrundskunskaper om hur HDF5 är uppbyggt och vad VASP är.

3.1.1 VASP

VASP är ett beräkningsprogram som använder sig av Hartree-Fock metoden eller täthetsfunktionalteori (DFT) för att approximera en lösning för Schrödingerekvationen för mångpartikelfallet [QuickStartGuide]. VASP-filer kan delas upp i indatafiler och utdatafiler. I indatafiler anges information som användaren kan manipulera, dessa indatafiler styr hur beräkningarna ska utföras. Efter beräkningar genereras sedan ett antal utdatafiler som innehåller kalkylresultaterna. Varje datafil korresponderar till specifik information om systemet. Nedan återfinns några viktiga VASP-filer.

Utdatafiler:

- CHG innehåller data om laddningstäthet.
- DOSCAR innehåller data om tillståndstäthet.
- EIGENVAL innehåller data för alla energier för k-rummet.
- OUTCAR innehåller alla utdata.
- XDATCAR innehåller data om enhetscell, atompositioner för varje beräkningssteg och även atomstyp.

- CONTCAR innehåller data som den återfunnen i POSCAR, men innehåller information om atompositioner uppdateras.
- PCDAT Innehåller data för parkorrelationsfunktionen, PKF.

Indatafiler:

- KPOINTS innehåller information om k-parametrarnas koordinater och vikter, alternativt instruktioner om hur en k-punkts mesh genereras av VASP.
- INCAR innehåller information, i form av flaggor över hur beräkningar ska ske.
- POSCAR innehåller data om enhetcellen och atompositionering.
- POTCAR innehåller data om atomtyper.

Vid exempelvis beräkning av PKF för Si i temperaturen 300K, specificeras information om hur systemet ser ut i filer som POSCAR. Sedan kan information om hur beräkningarna ska genomföras specificeras i exempelvis INCAR eller POTCAR. Detta kan röra sig om hur många iterationer som ska ske och i vilka avstånd PKF ska beräknas. Då kan exempelvis flaggor som NPACO och APACO sättas i INCAR-filen. Där flaggan NPACO specificerar hur många iterationer som sker och APACO bestämmer det längsta avståndet som sista iteration ska ha.

Efter beräkningen genereras flera utdatafiler, däribland PCDAT, som innehåller värdena av PKF. Utdatafilen, PCDAT, kan då ha följande utseende:

[illegible]

Figure 3: En demonstrativ bild över utseendet för PCDAT från VASP. Notera att värdena inte riktigt stämmer.

Bilden ovan beskriver utseendet hos en del av PCDAT-filen för PKF för systemet Si i 300K, med 40 olika tidsteg. Viktigaste är den långa kolumnen av siffror som utgör definitionsmängden till funktionen.

3.1.2 HDF5-format

Vid hantering av stora mängder data, sådana genererade av beräkningsprogram som VASP, är HDF5-formatet mycket användbart. Det gör specificiering av olika dataförhållanden och beroenden enkla, samt tillgängliggör bearbetning av delar av data åt gången.

En HDF5-fil är ett objekt som innehåller en rotgrupp, som äger alla andra grupper under den. Denna rotgrupp kan symboliseras av `/`. Exempelvis `/foo/zoo` symboliserar `zoo` som är en medlem till `group foo`, som vidare är en medlem till rotgruppen. Ett `dataset` kan pekars av flera `groups` [HDFGroup2].

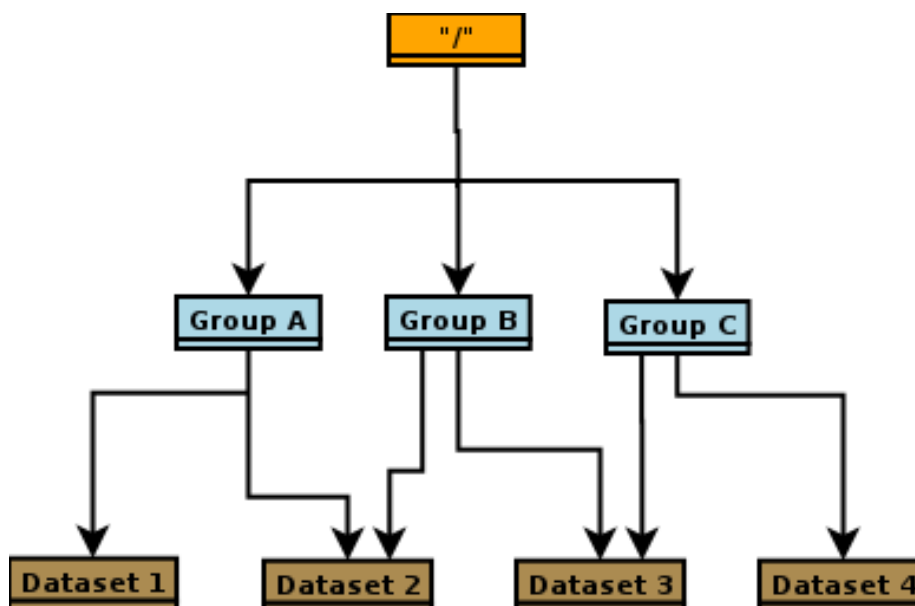


Figure 4: Schematisk bild över HDF5 struktur

Mer ingående består `dataset`-objektet av metadata och rådata. Metadata beskriver rådatan, till den ingår `dataspace`, `datatype`, `properties` och `attributes`. Alla dessa är HDF5-objekt som beskriver olika saker.

`datatype` beskriver vad för datatyp varje individuell dataelement i ett dataset har. Exempelvis kan detta vara ett 32-bitars heltal, eller ett 32-bitars flyttal. I det mer komplexa fallet kan det också vara en sammansättning av flera, vanligt benämnda, datatyper. `Datatype` beskriver då en följd av olika datatyper. Exempelvis en sammansättning som `int16, char, int32, 2x3x2 array av 32-bit floats` beskriver att varje dataelement i det gällande datasetet har en datatyp som består av 16 bitars heltal, en bokstav, 32-bitars heltal och slutligen en array av flyttal med dimensionen `2x3x2`. `dataspace` är en HDF5-objekt som beskriver hur datasetet sparar sin data, den kan exempelvis vara tom. Ett dataset kan även bestå av ett enda tal, eller vara en array. `Properties` är mindre konkret än de två tidigare nämnda egenskaperna och beskriver minneshanteringen av ett dataset. I dess defaultläge exempelvis är dataset sparade kontinuerligt. Slutligen återfinns HDF5-objektet `attributes`, som kan valbart skapas. Typiskt sätt skapas `attributes` som ett sätt för att ytterligare beskriva några egenskaper hos ett dataset. En `attribute` innehåller ett namn och ett värde, och skapas i samband med att ett dataset öppnas [HDFGroup2].

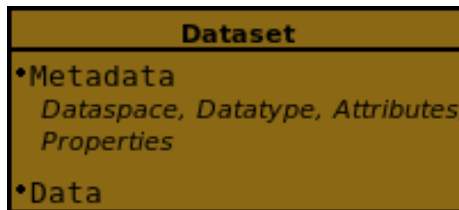


Figure 5: Schematisk bild över *dataset*.

ENVISIoN arbetar med HDF5-formatet. Python ger tillgång till hantering av HDF5-formatet via paketet *h5py*. Detta tillgängliggör exempelvis läsandet av specifika element i massiva arrayer med användandet av syntaxer tillgängliga av paketet *numpy* [[HowToUseHDF5FilesinPython](#)].

Paketet *h5py* ger upphov till HDF5-filer vilket kan ses som behållare för två sorters objekt, *datasets* och *groups*. *datasets* är array-liknande ihopsättning av data, medan *groups* fungerar som behållare för andra *groups* eller *datasets* [[HowToUseHDF5FilesinPython](#)]. Elementen i *datasets* kan vara komplexa objekt. *groups* kan återfinnas i andra *groups*, detta ger därmed möjlighet till konstruktion av grupperingar av olika sammanhängande data. *groups* och medlemmarna till *groups* fungerar som mappar och filer i UNIX. Varje *dataset* karaktäriseras exempelvis av en sökväg [[HDFGroup2](#)].

3.2 ENVISIoNs HDF5-fil

ENVISIoNs parsersystem använder sig av pythonmodulen *h5py* för att generera en lämplig HDF5-filstruktur vid parsning. Den HDF5-strukturen som genereras återfinns i nedstående diagram. Notera att figuren visas som helbild i Appendix 7.

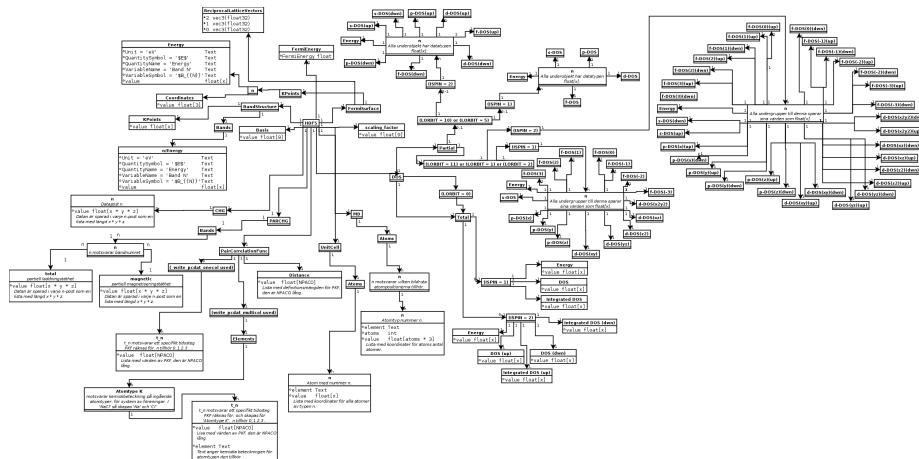


Figure 6: En bild över HDF5-filstruktur som används i ENVISIoN.

I diagram 6 nedan representeras olika grupper (*groups*) av lådor med pilar (förutom lådorna vars brödtext är angiven i parantes), de sista lådorna i slutet av varje förgrening representerar olika *dataset*. Diagrammet beskriver alltså hur information struktureras i en HDF5-fil som parsersystemet skapat. För att få tillgång till ett visst *dataset* måste

en sökväg anges. Denna sökväg är inget mer än en sträng bestående av olika grupper som beskriver hur ett *dataset* nås från rotgruppen, se under rubrik 3.1.2.

Varje *dataset* kan bestå av ett antal olika fältnamn. Det fältnamn som alltid förekommer är *value*, vilket beskriver den huvudsakliga datan som datasetet innehåller. Utöver det kan vissa andra fältnamn också förekomma, exempelvis "VariableName" vilket är olika attribut, *attributes*, som beskriver andra egenskaper hos *dataset* som kan vara intressant.

Notera att diagram 6 saknar viss information för DOS. DOS står för Density of States, översatt till tillståndstäthet. På grund av platsbrist har inte attributen skrivits ut för DOS. p-DOS, d-DOS(xy), Energy, grupper under DOS, med mera har attributen

- VariableName är fältets namn.
- VariableSymbol är en symbol som representerar variabeln.
- QuantityName är ett för en människa läsligt namn på fältet.
- QuantitySymbol är symbol som representerar storheten.
- Unit är storhetens fysikaliska enhet.

Notera också att *float[x]* avser en lista med längd *x*, samt att alla grupper som är märkta med *n* är en metod att ange att det kan finnas flera grupper på den nivån. Lådor vars rubrik är angivet inom parentes anger ett villkor för att den resterande sökvägen ska kunna skapas. Viktig anmärkning här är därför att dessa villkor inte ingår i HDF5-strukturen, de är inga grupper, och ingår därmed inte med sökvägen till de respektive dataseten. Under *DOS* förekommer exempelvis en sådan låda med brödtexten (*LORBIT=0*), samt under förgreningen hos *DOSPartial* förekommer en låda med angivelsen (*ISPIN=0*). Båda *ISPIN* och *LORBIT* är flaggor som kan sättas i INCAR-filen. I detta fall anger lådorna villkoren att (*LORBIT=0*) och (*ISPIN=0*) för att den fortsatta respektive grupperna under ska kunna skapas. Lådan under *PairCorrelationFunc* anger dock ingen sådan flagga. Det den anger är villkoret som har med huruvida *_write_pcdat_onecol* eller *_write_pcdat_multicol* används.

Parsning av PKF ges av olika möjligheter, parsern behandlar en av följande fall:

1. System av flera atomtyper, det som beräknas är en genomsnittlig PKF över alla atomtyper.
2. System av flera atomtyper, det som beräknas är en genomsnittlig PKF för varje atomtyp. Ingår det *K* atomtyper i systemet ska parsern ge upphov till *K* stycken parkorrelationsfunktioner.
3. System av 1 atomtyp.

För fall 2 och 3 används *_write_pcdat_multicol* medan fall 1 använder *_write_pcdat_onecol*, se under rubrik 3.3. Villkoren är därmed enbart ett sätt att ange vad för fall parsern behandlar.

3.3 Skrivning till HDF5-fil

Det som skapar strukturen i HDF5-filen är skrivningsmodulen *h5writer* I ENVISIoN. *h5writer.py* är ett skript som innehåller alla skrivningsfunktioner som ingår i parser-systemet. Funktionernas uppgift är att skapa *datasets* (rådata) i rätt plats i HDF5-fil objektet. Nedan listas alla funktioner som ingår i modulen.

_write_coordinates Denna funktion skriver koordinater för atompositioner där varje atomslag tilldelas ett eget *dataset*. Attribut sätts för respektive grundämnesbeteckning per *dataset*.

Parametrar:

- **h5file:** Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- **atom_count:** Lista med antalet atomer av de olika atomslagen.
- **coordinates_list:** Lista med koordinater för samtliga atomer.
- **Elements:** None eller lista med atomslag.

Returnerar:

- None

_write_basis Denna funktion skriver gittervektorerna i ett dataset med namn *basis*.

Parametrar:

- **h5file:** Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- **basis:** Lista med basvektorerna.

Returnerar:

- None

_write_scaling_factor Denna funktion skriver skalfaktorn för gittret i ett dataset med namn *scaling_factor*.

Parametrar:

- **h5file:** Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- **scaling_factor:** Skalfaktorn för gittret.

Returnerar:

- None

_write_fermi_energy Denna funktion skriver fermi-energin i ett dataset med namn *FermiEnergy*.

Parametrar:

- **h5file:** Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- **fermi_energy:** Fermi-energin för den aktuella uträkningen.

Returnerar:

- None

_write_bandstruct Denna funktion skriver ut data för bandstruktur i en grupp med namn *Bandstructure*. Inom denna grupp tilldelas specifika K-punkter, energier samt bandstrukturer egna dataset. Högsymmetripunkter och deras symboler tilldelas egna dataset. Diverse attribut sätts även för bl.a. specifika energier.

Parametrar:

- **h5file:** Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- **band_data:** Lista med bandstrukturdata.
- **kval_list:** Lista med K-punkter för specifika bandstrukturdata.

Returnerar:

- None

_write_dos Denna funktion skriver ut DOS-data i en grupp med namn DOS där total och partiell DOS tilldelas grupper med namn Total respektive Partial. Inom gruppen Total tilldelas energin samt specifika DOS egna dataset och inom gruppen Partial tilldelas varje partiell DOS egna grupper där energin samt specifika DOS tilldelas egna dataset.

Parametrar:

- **h5file:** Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- **total:** En lista med strängar av de olika uträkningarna som har utförts av VASP för total DOS.
- **partial:** En lista med strängar av de olika uträkningarna som har utförts av VASP för partiell DOS.
- **total_data:** En lista med alla beräkningar för total DOS för varje specifik atom.
- **partial_list:** En lista med alla beräkningar för partiell DOS för varje specifik atom.
- **fermi_energy:** Fermi-energin för den aktuella uträkningen.

Returnerar:

- None

_write_volume Denna funktion skriver ut elektrontäthetsdata och elektronlokaliseringsfunktionsdata (ELF) till grupper med namn CHG respektive ELF. Inom dessa grupper tilldelas varje iteration ett dataset.

Parametrar:

- **h5file:** Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- **i:** Skalar som anger numret på iterationen.
- **partial:** En lista med strängar av de olika uträkningarna som har utförts av VASP för partiell DOS.
- **array:** Array med parsad data för respektive iteration.
- **data_dim:** Lista som anger dimensionen av data för respektive iteration.
- **hdfgroup:** En textsträng med namnet på vad man vill kalla gruppen i HDF5-filen.

Returnerar:

- None

_write_incar Denna funktion skriver ut parsad data från INCAR i ett dataset med namn Incar där varje datatyp tilldelas egna dataset.

Parametrar:

- h5file: Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- incar_data: Datalexikon med all data från INCAR-filen.

Returnerar:

- None

_write_pcdat_onecol Denna funktion skapar ett HDF5-struktur för ett system med flera atomtyper, där en genomsnittlig PKF beräknas för alla atomtyper. Funktionen skapar en HDF5-struktur som innehåller data från huvudsakligen PCDAT.

Parametrar:

- h5file: Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- pcdat_data: Tillhör Python-datatypen *dictionary* [[dict](#)]. Detta argument innehåller alla värden av PKF som parsats.
- APACO_val: Värdet på APACO-flaggan i VASP-filen INCAR eller POTCAR. Defaultvärde är 16 Ångström. Flaggan anger det längsta avståndet sista iteration för beräkning av PKF har.
- NPACO_val: Värdet på NPACO-flaggan i VASP-filen INCAR eller POTCAR. Defaultvärde är 256. Flaggan anger hur många iterationer ska ske för beräkning av PKF.

Returnerar:

- None

_write_pcdat_multicol Denna funktion skapar ett HDF5-struktur för ett system med flera atomtyper, där en genomsnittlig PKF beräknas för varje atomtyp som ingår i systemet. Funktionen anropas också i fallet då systemet enbart består av en atomtyp. Funktionen skapar en HDF5-struktur som innehåller data från huvudsakligen PCDAT.

Parameterar:

- h5file: Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- pcdat_data: Tillhör Python-datatypen *dictionary* [[dict](#)]. Detta argument innehåller alla värden av PKF som parsats.
- APACO_val: Värdet på APACO-flaggan i VASP-filen INCAR eller POTCAR. Defaultvärde är 16 Ångström. Flaggan anger det längsta avståndet sista iteration för beräkning av PKF har.
- NPACO_val: Värdet på NPACO-flaggan i VASP-filen INCAR eller POTCAR. Defaultvärde är 256. Flaggan anger hur många iterationer ska ske för beräkning av PKF.

Returnerar:

- None

3.4 Inläsning av VASP-filer

Innan en funktion kan skriva till HDF5-objektet krävs det att rätt inläsning av innehåll från relevant VASP-fil har skett. Detta är vad de olika läsningsfunktionerna i parser-systemet gör. Typiskt återfinns en pythonmodul för varje egenskap hos ett system som ska parsas. Nedan listas alla sådana moduler.

3.4.1 Bandstrukturparser

Bandstrukturparsern läser in alla energier för k-parametrar från EIGENVAL-filen i användarens VASP-mapp, som skrivs till /Bandstructure i HDF5-filen och dessutom skrivs de inlästa k-parametrarnas koordinater från EIGENVAL-filen in i /BandStructure i HDF5-filen. Högsymmetripunkter och dess symboler läses av från KPOINTS-filen och Bravais-gittrets typ läses av från OUTCAR-filen i användarens VASP-mapp och dessa punkter och tillhörande symboler skrivs in i egna datasets under /Highcoordinates i HDF5-filen.

Funktionsanrop: `envisionpy.hdf5parser.bandstructure(h5file, vasp_dir)`

Parameterar:

- `h5file`: Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- `vasp_dir`: Sökväg till VASP-katalog, anges som en sträng.

Returnerar:

- Bool: True om parsning skett felfritt, False annars.

3.4.2 Incarparser

Incarparsern består av en pythonfil med namnet `incar` som innehåller funktionerna, `incar` och `parse_incar`. Dessa funktioner läser in och sparar information från INCAR-filen samt anropar en separat pythonmodul som skriver en HDF5-fil.

Funktionen `incar` kontrollerar att HDF5-filen redan innehåller INCAR-data och anropar funktionen `parse_incar` om så inte är fallet. Existerar INCAR-filen i användarens VASP-katalog parsas data av funktionen `parse_incar` som då sparar ett dataset för varje datatyp och namnger dataseten därefter. Funktionen `incar` anropar sedan pythonmodulen som skriver HDF5-filen där varje enskilt *dataset* tilldelas en egen grupp.

Funktionsanrop: `envisionpy.hdf5parser.incar(h5file, vasp_dir)`

Parameterar:

- `h5file`: Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- `vasp_dir`: Sökväg till VASP-katalog, anges som en sträng.

Returnerar:

- Lista med namn på data (*datasets*) som parsas.
- Bool: True om parsning skett felfritt, False annars.

3.4.3 Volymparser

Volymparsern består av en mängd funktioner i en pythonfil som används för parsning av CHG och ELFCAR. Den kan läsa in och spara data på HDF5-format från båda dessa filer genom att anropa en pythonmodul. Detta är för att CHG och ELFCAR har samma struktur och består av ett antal iterationer av volymdata från volymberäkningar. Således innehåller den sista iterationen data som är mest korrekt. Därför skapar volymparsern också en länk till den sista iterationen i HDF5-filen för att data av högst kvalitet lätt ska kunna plockas ut.

Funktionsanrop vid parsning av CHG-data: `envisionpy.hdf5parser.charge(h5file, vasp_dir)`

Funktionsanrop vid parsning av ELFCAR-data: `envisionpy.hdf5parser.elf(h5file, vasp_dir)`

Parameterar:

- `h5file`: Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- `vasp_dir`: Sökväg till VASP-katalog.

Returnerar:

- Bool: True om parsning skett felfritt, False annars.

3.4.4 Tillståndstäthetsparser

Tillståndstäthetsparsern består av en mängd funktioner i en pythonfil som används för parsning av DOSCAR. DOSCAR-filen består först av den totala tillståndstätheten och sedan partiell tillståndstäthet för varje atom i kristallen. Beroende på vad som står i INCAR kan dock denna data se väldigt olika ut. Flaggora ISPIN, RWIGS och LORBIT i INCAR-filen avgör vad som skrivs i DOSCAR-filen. ISPIN-flaggan informerar om spinn har tagits hänsyn till vid beräkningar, RWIGS-flaggan specificerar Wigner-Seitz-radien för varje atomtyp och LORBIT-flaggan (kombinerat med RWIGS) avgör om PROCAR- eller PROOUT-filer (som DOSCAR-filen refererar till) skrivs. Parsern läser därför från data givet av incarpaseren i HDF5-filen för att se hur DOSCAR ska parsas. Parsern delar upp data i två grupper i HDF5-filen, total och partiell. I gruppen partiell finns det en grupp för varje atom. Ett dataset för varje undersökt fenomen skrivs sedan ut för varje atom under partiell, och för total tillståndstäthet under total.

Funktionsanrop: `envisionpy.hdf5parser.dos(h5file, vasp_dir)`

Parameterar:

- `h5file`: Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- `vasp_dir`: Sökväg till VASP-katalog.

Returnerar:

- Bool: True om parsning skett felfritt, False annars.

3.4.5 Enhetscellsparser

Enhetscellsparsen läser in gittervektorer, som multipliceras med skalfaktorn och skrivs till /basis i HDF5-filen. Atompositioner läses från POSCAR och om dessa är angivna med kartesiska koordinater räknas de om till koordinater med gittervektorerna som bas. Koordinaterna skrivs till HDF5-filen uppdelade efter atomslag och attribut sätts med respektive grundämnesbeteckning. Om dessa inte ges med parametern `elements` letar parsen i första hand i POTCAR och i andra hand i POSCAR.

Funktionsanrop: `envisionpy.hdf5parser.unitcell(h5file, vasp_dir, elements = None)`

Parameterar:

- `h5file`: Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- `vasp_dir`: Sökväg till VASP-katalog.
- `elements = None`: None eller lista med atomslag.

Returnerar:

- Bool: True om parsning skett felfritt, False annars.

3.4.6 Parkorrelationsfunktionsparker

Parkorrelationsfunktionsparker använder sig av ett antal olika funktioner, vilka alla anropas med funktionen `paircorrelation(h5file, vasp_dir)`. Parsningen görs genom inläsning av korrekt data från PCDAT-filen, samt inläsning av flaggor som NPACO och APACO. Parsen letar efter dessa flaggor i INCAR eller POTCAR för att se om de är satta. I fallet de inte är det antas deras defaultvärden.

Funktionsanrop: `envisionpy.hdf5parser.paircorrelation(h5file, vasp_dir)`

Parameterar:

- `h5file`: Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- `vasp_dir`: Sökväg till VASP-katalog.

Returnerar:

- Bool: True om parsning skett felfritt. Ett undantag kan kastas om PCDAT-fil inte hittas.

3.4.7 Fermi-yta parser

Reads OUTCAR and EIGVAL to create datastructure for visualization of fermi surfaces

Parameters:

hdf_file_path: str Path where hdf file will be written to

vasp_dir_path: str Path of directory containing OUTCAR and EIGENVAL files

Returns: True if successful else False

3.4.8 parse_all

parse_all är en funktion för parsning av allt som finns i katalogen som ges som inparameter. Funktionen kallar på alla systemets parsers och skriver ut meddelande om vad som parsas och om parsningen gjordes eller ej.

Funktionsanrop: `envision.parse_all(h5_path, dir)`

Parameterar:

- `h5_path`: Sökväg till HDF5-fil, anges som en sträng.
- `vasp_dir`: Sökväg till katalog med utdata-filer från beräkningsprogram.

Returnerar:

- Bool: True om parsning skett felfritt, False annars.

3.5 Testning

För att varje års projekt ska kunna kontrollera att alla parsersystem fungerar är det viktigt med testfiler. Detta kan också ge inblick i hur parsern är tänkt att fungera. En generell testmapp i ENVISIONs filstruktur för parsersystemet finns vid namn `/unit_testing`. Mappen innehåller tester för parsning av bandstrukturer, tillståndstätheter, elektrontäthet, enhetscell och fermi-ytor. Testerna är skapade att testa om HDF5-filer genereras ur parsersystemen och om de genererade HDF5-filerna har korrekt datastruktur.

Test för exempelvis parsersystemet för bandstrukturer har implementerats med en testfil med namnet `test_bandstructure_parsing.py` samt en mapp vid namn `resources`. I `resources` finns det olika mappar med VASP-filer för olika kristaller, som därmed testar att parsern fungerar korrekt för olika filer. Det är tanken att framtida utvecklare använder sig av denna mapp för att lägga in tester för nyskapade funktioner för parsning av någon ny egenskap.

4 Visualiseringssystemet

Visualiseringssystemet är det delsystem som använder den HDF5-fil som parsersystemet genererar för att visualisera beräkningsresultaten. Detta görs genom olika nätverk, bestående av processorer. Nedstående kapitel redovisar de olika befintliga nätverk ENVISION består av.

4.1 Nätverk

För att visualiseringssystemet ska vara kompatibelt med den HDF5-strukturen som parsersystemet genererar kommer utseendet hos nätverken att se olika ut för varje visualisering. Nedan återfinns olika nätverk som olika skript genererar för olika visualiseringar.

4.1.1 Parkorrelationsfunktionen

Ett nytt skript med processorer för visualisering av parkorrelationsfunktionen har utvecklats. Det nätverk som skapas av skriptet visas i figur 7.

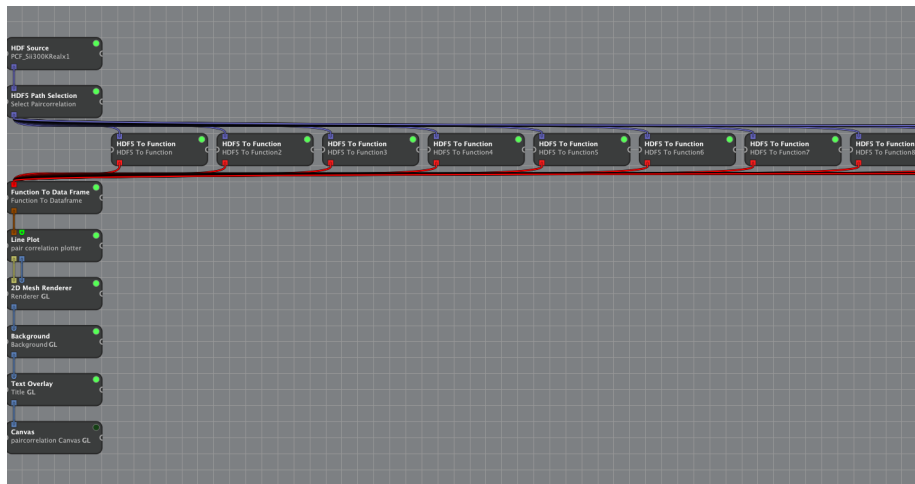


Figure 7: Nätverk för parkorrelationsfunktion.

Nätverket startar med att öppna en HDF5-fil. Efter det kontrollerats om gruppen *PairCorrelationFunc* finns i den parsade filen med hjälp av *HDF5PathSelection*-processorn. Därefter läggs det till en *HDF5ToFunction*-processor som extraherar den parsade datan och gör om det till en funktion. Nästkommande processorn, dvs *LinePlot*, används för att rita upp den data som tas emot från föregående processorn. En mesh byggs upp med hjälp av *MeshRenderer*-processorn, *Background*-processorn bygger upp bakgrunden och *TextOverlay*-processorn används för att skriva ut text till canvasen. Figur 7 och 8 demonstrerar ett exempel på ett nätverk och respektive 2D-graf som visualiserar paircorrelation funktionen för Si med 40 steg i temperaturen 300K. Observera att alla *HDF5ToFunction*-processorer inte syns i figur 7. Den 2D-grafen som genereras av nätverken visas i figur 7.

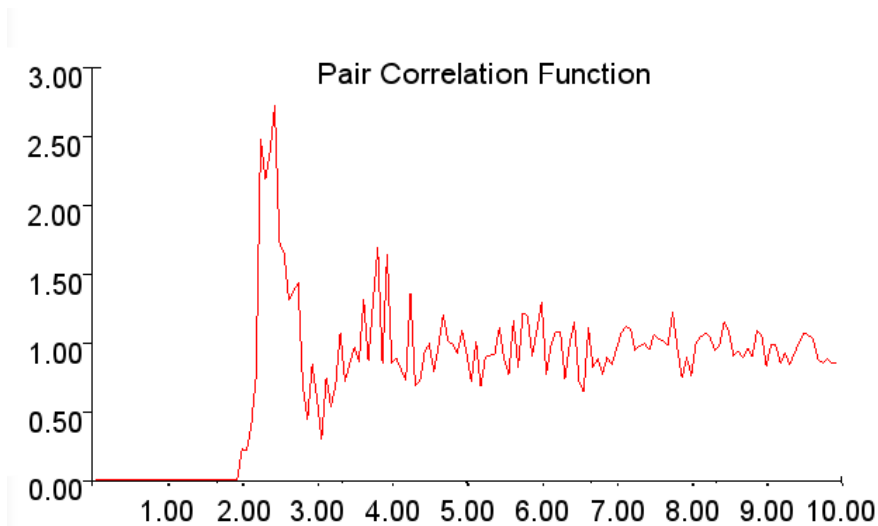


Figure 8: 2D-graf från parkorrelationsfunktion.

4.1.2 Bandstruktur

Nätverket startar med att öppna en HDF5-fil. Därefter skapas en process som extraherar data. Sedan navigeras det genom HDF5-filen till platsen där alla band, högkaraktäristiska punkter (symboler) i Brillouin-zonen och högkaraktäristiska punkternas koordinater är sparade. Alla band sparas i en DataFrame där varje kolumn innehåller alla värden för ett band. Alla högkaraktäristiska punkter med tillhörande koordinat sparas i varsina DataFrames. Därefter ritas alla band och symboler upp. Det ritas även upp linjer som ligger i lod med symbolerna för att enklare se var i plotten symbolerna är. X-axeln visar symbolerna och y-axeln visar energierna i eV. X-axeln är även baserad på antalet iterationer av k-punkterna ur VASP-filerna.

Med den kunskapen gruppmedlemmarna besitter idag skulle inte x-axeln vara baserad på iterationer av k-punkter utan på avståndet mellan två symboler i Brillouin-zonen.

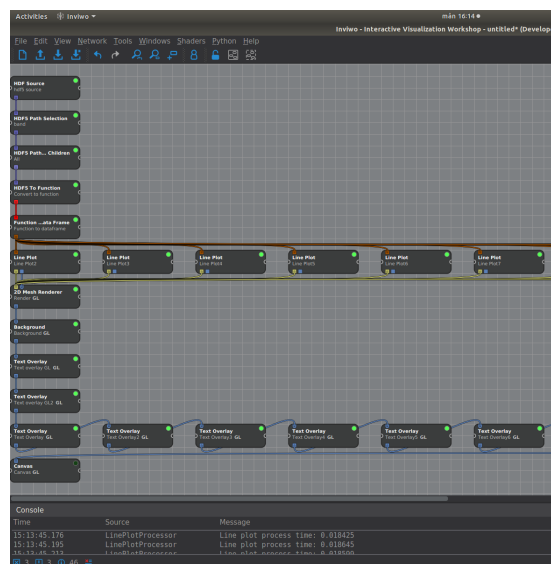
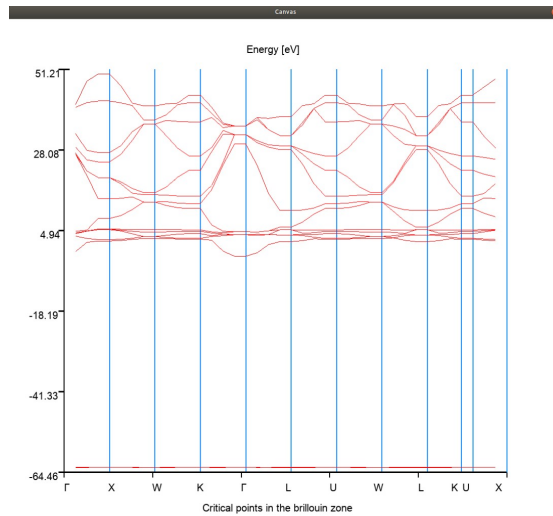


Figure 9: Nätverk för visualisering av bandstruktur.



Plott över bandstrukturen med inmarkerade högkaraktäristiska punkter (symboler) och linjer för att markera symbolernas läge i plotten.

4.1.3 Tillståndstäthet

Nätverket för visualisering av tillståndstäthetsdata laddar en *HDFSource*-processor som anger HDF5-filen som data laddas från. Sedan kopplas en *HDF5PathSelection*-processor, som tar ut den givna HDF5-gruppens alla undergrupper direkt till den redan befintliga *HDFSource*-processorn. Denna processor anger att data ska laddas från DOS-gruppen i HDF5-filen. Två till *HDF5PathSelection*-processorer laddas sedan som anger grupperna Total och Partial i HDF5-filen.

För Total-delen laddas sedan kontinuerligt *HDF5ToFunction*-processorer som gör funktioner av all data i Total-gruppen. För Partial-gruppen laddas en *HDF5PathSelection*-processor som tar ut dataset för en vald atom genom att välja den givna HDF5-filens relevanta undergrupp. Denna processor har namnet *Partial Pick* i nätverket. Därefter laddas *HDF5ToFunction*-processorer för alla dataset i grupperna under Partial-gruppen. All data matas sedan in i en *LinePlot*-processor som gör en 2D-graf. Detta matas in i en *Canvas*-processor som visar själva grafen. Dessutom finns två *textOverlay*-processorer som skriver ut text för x- och y-axeln. Figur 4.1.3 visar total tillståndstäthet för titanfosfat, TiPO4. Figur 10 visar nätverket som ger 2D-grafen i figur 4.1.3. Användaren kan även välja att visa en 2D-graf av den partiella tillståndstätheten med hjälp av samma nätverk.

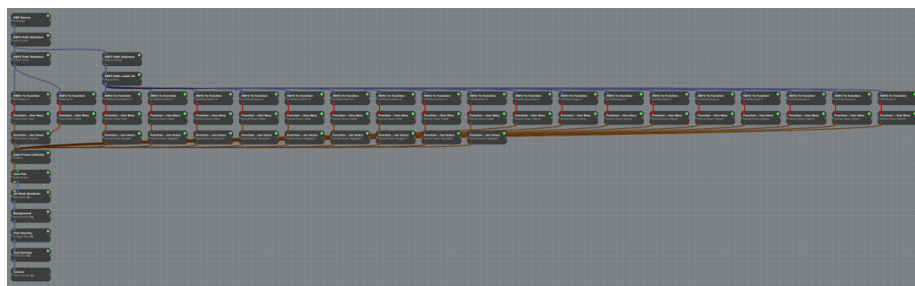
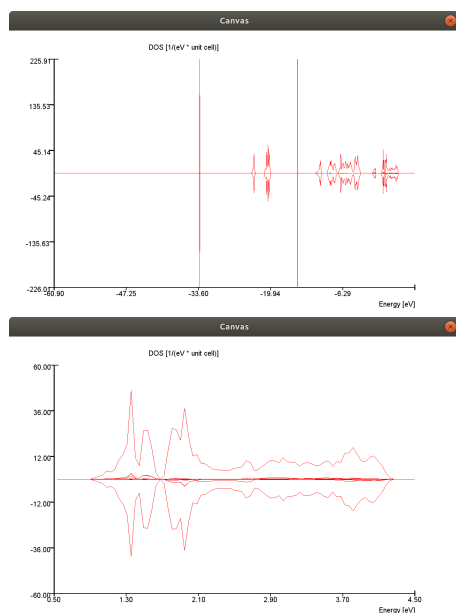


Figure 10: Nätverk för visualisering av tillståndstäthet.



Visualisering av tillståndstätheten för TiPO_4 . (vänster) Visualisering av den totala tillståndstätheten med en blå hjälplinje för avläsning. (höger) Förstoring av visualiseringen av den totala tillståndstätheten.

4.1.4 Enhetscell

Hos nätverket för visualisering av enhetscellen hämtar först en *HDFSource*-processor HDF5-filen. Under *HDFSource*-processorn ligger ett antal *CoordinateReader*-processorer, en för varje atomslag i enhetscellen. Från HDF5-filen hämtar var och en av *CoordinateReader*-processorerna koordinaterna för atomslagets alla enhetscellsatomer. En *StructureMesh*-processor skapar sedan en mesh utifrån koordinaterna. Efter det skapar en *SphereRenderer*-processor en bild utifrån meshen, där en sfär ritas ut för varje atom i enhetscellen. Bilden skickas sedan till en *Canvas*-processor, som skapar ett fönster där bilden visas. Figuren nedan visar hur nätverket ser ut för bariumsulfat (BaSO_4) och figuren under den visar den resulterande bilden.

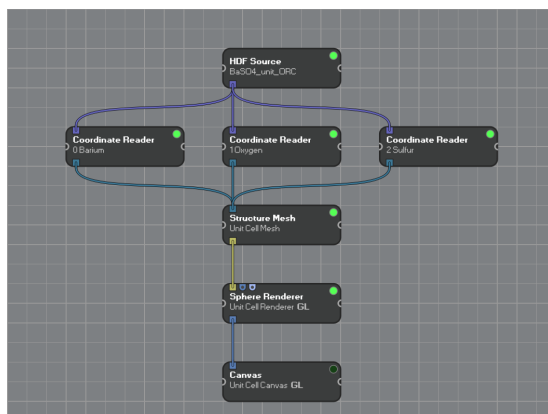


Figure 11: Nätverk för visualisering av enhetscellen.

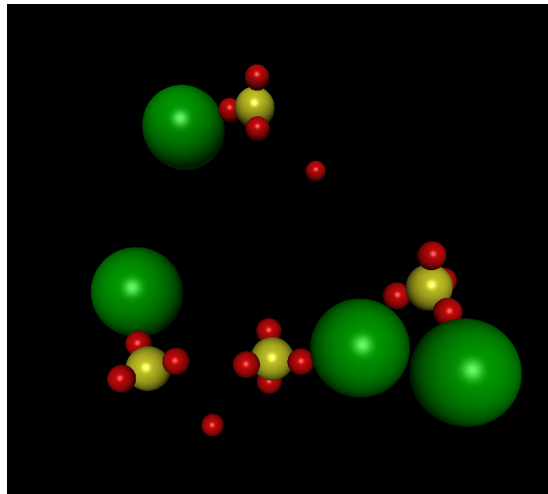
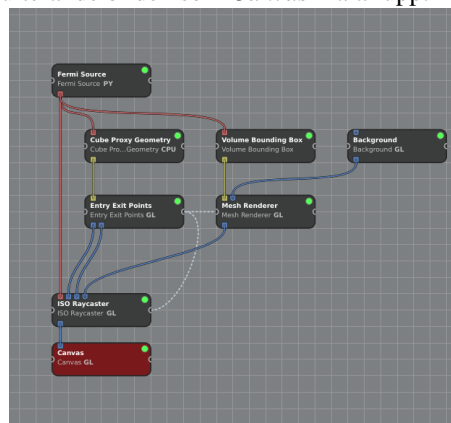
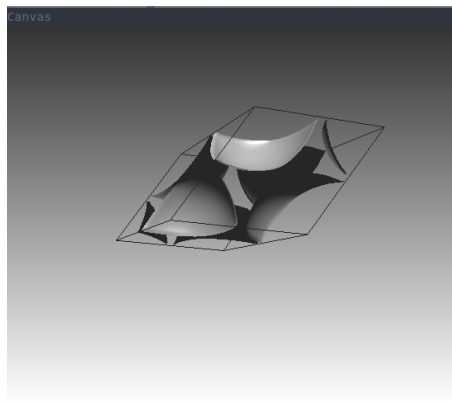


Figure 12: Den resulterande bilden.

4.1.5 Fermi-yta

Visualisering av fermi ytan görs med en skapad python process *HDF5FermiSource*. *HDF5FermiSource* läser in en hdf5 fil skapad av parsesystemen. Genom attributet *energy_band* väljs vilken data ska visualiseras, datan normaliseras och sedan omvandlas till en *Inviwo-Volume* som output. Resterande delarna av nätverket är inbyggda in-
viwo processorer. Volymen skickas till två mesh renderare som omvandlar meshen till en bild. *ISO-Raycaster* kan sedan välja ut vilka värden i volymen att visa i den resulterande bilden som *Canvas* målar upp.





Fermi-yta (höger) Inwiwo-nätverket (vänster) resulterande bild.

4.1.6 Elektrontäthet

Figuren nedan visar nätverket för visualisering av elektrontäthet. Först hämtar en *HDF-Source*-processor HDF5-filen. En *HDF5ToVolume*-processor hämtar sedan elektrontätheten från HDF5-filen och genererar en volym för den. Processorerna *CubeProxyGeometry*, *EntryExitPoints* och *VolumeRayCasyer* skapar en bild utifrån volymen. Denna bild är en 3D-bild av elektrontätheten hos materialets enhetscell. Processorerna *VolumeBoundingBox* och *MeshRenderer* skapar en parallelepiped som omsluter volymen. Parallelepipeden skickas sedan vidare till *VolumeRayCaster*-processorn, där den sammanfogas med elektrontäthetsbilden. Till den resulterande bilden läggs det sedan på en bakgrund med hjälp av en *Background*-processor. Slutligen skickas bilden till en *Canvas*-processor, som gör att bilden visas upp.

Volymen som skapas av *HDF5ToVolume*-processor skickas även parallellt till en *VolumeSlice*-processor, som genererar ett tvådimensionellt tvärsnitt av elektrontätheten. Till den läggs det sedan till en bakgrund med hjälp av en *Background*-processor och slutligen skickas tvärsnittsbilden till en egen *Canvas*-processor, där den visas upp.

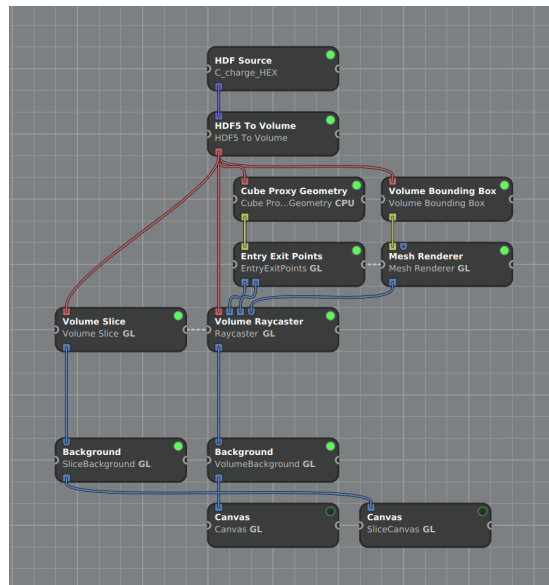


Figure 13: Nätverket för visualisering av elektrontäthet.

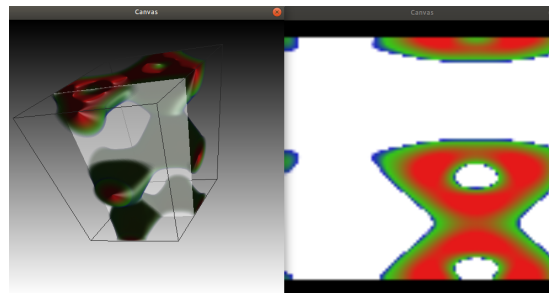


Figure 14: De resulterande bilderna.

4.2 NetworkHandlers

För att andra delsystem enkelt ska kunna sätta upp och ändra parametrar i inviwo-nätverken så har python-klasser, kallade *NetworkHandlers*, skrivits. Dessa klasser initierar specifika delar av nätverket och har funktioner för att ändra speciella properties i de processorer de har ansvar över. *NetworkHandlers* finns för nuvarande inte för alla visualiseringar utan bara för de relaterade till volymrendering.

Alla dessa klasser ärver en basclass kallad *NetworkHandler*. Denna har i uppgift att ta hand om ett set av processorer som hör till en speciell visualisering.

NetworkHandler-klasserna tillhör *envisionpy*-modulen och ligger under *envisionpy.processor_network*.

4.2.1 VolumeNetworkHandler

En klass som sätter upp ett generiskt nätverk för volymrendering. Nätverket som byggs upp kan inte självständigt ge upphov till någon visualisering då ingen volymdatakälla

initieras. Detta måste istället göras från en mer specificerad *VolumeHandler*-klass som ärver denna.

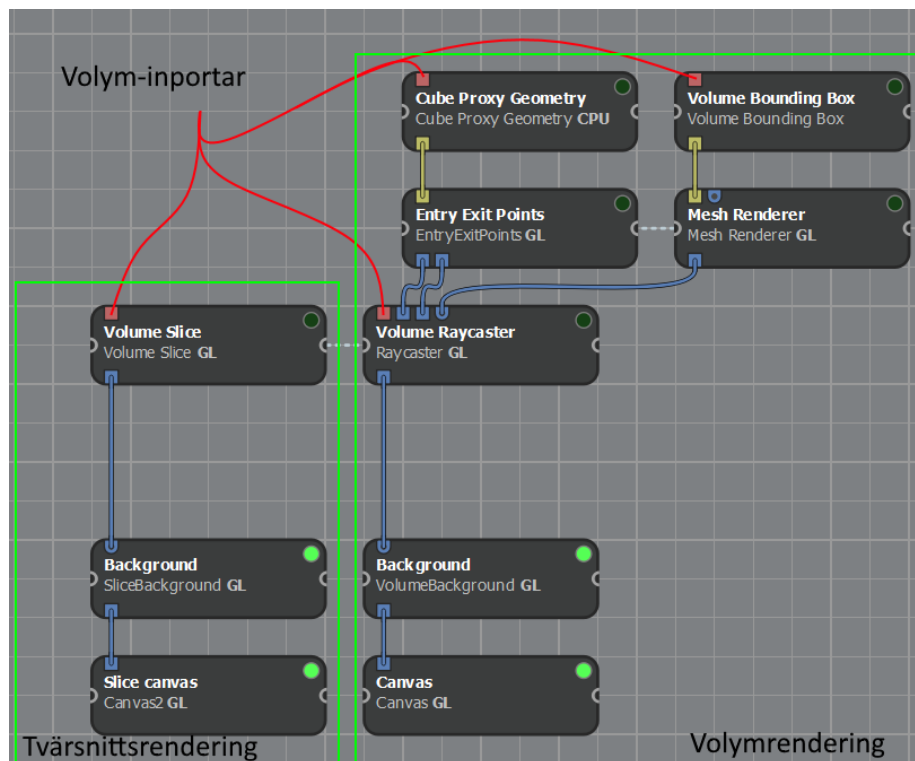


Figure 15: Nätverket som byggs upp då en *VolumeNetworkHandler*-instans initieras.

Som visas i figur 15 så kan nätverket delas upp i två delar. En volymrenderingsdel och en tvärsnittsrenderingsdel.

Processorerna *Cube Proxy Geometry*, *Entry Exit Points*, och *Volume Raycaster*, visade i mitten av figur 15 kommer att generera bilddata direkt baserat på den volymdata de tar emot.

Processorerna *Volume Bounding Box* och *Mesh Renderer* visade i högra delen av figur 15 kommer att generera bilddata av den parallelepiped som stänger in volymen. Bilddatan skickas sedan till *Volume Raycaster* och sammanfogas där med bilddatan av volymen. Detta skickas sedan till *Volume Background*-processorn där en bakgrund adderas till bilddatan som sedan skickas till *Canvas*-processorn där den slutgiltiga visualiseringen visas.

Tvärsnittsrenderingen tar emot samma volymdata som volymrenderingen, skickar det till *Volume Slice*-processorn, vilken genererar bilddata baserat på ett plan som skär volymen. Bilddatan skickas sedan till en egen canvas. Volymrenderingens *Raycaster*-processor har förmågan att rita ut ett plan på en godtycklig position i volymen. Detta plan länkas till planet i *Volume Slice*-processorn så att ett delvis transparent plan ritas i volymen på samma position som planet *Volume Slice* använder sig av för att hämta sin data. Tvärsnittsrenderingen kan aktiveras och inaktiveras genom att dess *Canvas*-processor raderas eller läggs till, och att planrenderingen i *Raycaster*-processorn aktiveras eller inaktiveras.

4.2.2 UnitcellNetworkHandler

En klass som sätter upp ett och hanterar nätverk för atompositionsrendering. Nätverket som sätts upp kan självständigt generera en visualisering för bara atompositioner men kan också kombineras med andra nätverk genom att denna ärvs i mer specificerade *NetworkHandler*-klasser.

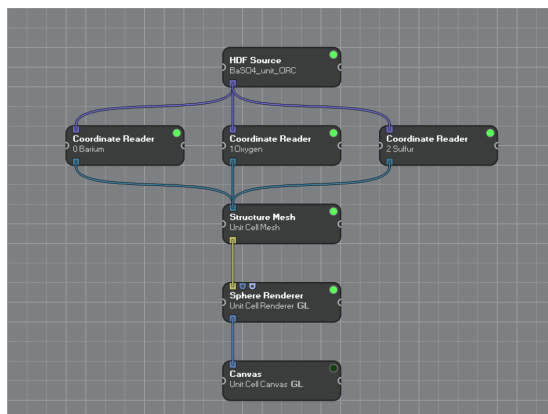


Figure 16: Nätverket som byggs upp då en *UnitcellNetworkHandler*-instans initieras.

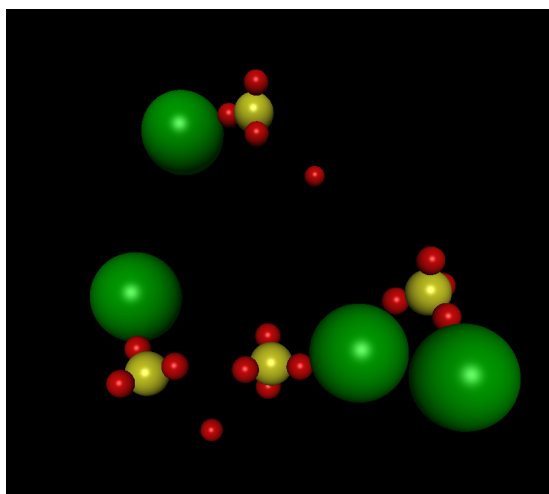


Figure 17: Resultande bild från nätverk i figur 16

UnitcellNetworkHandler börjar med kontrollera att den givna HDF5-filen har data för en atompositionsvisualisering och kastar ett *AssertionError* om den inte har det. Den fortsätter sedan med att sätta upp en *HDF5 Source*-processor, om en sådan redan existerar så används den existerande processorn istället. Vilka atomtyper som HDF5-filen innehåller information om läses sedan.

En *Coordinate Reader*-processor för varje atomtyp läggs till. Koordinatdata skickas vidare till en *Structure Mesh*-processor, en ENVISION processor som konverterar koordinaterna till en *mesh*. Meshen skickas till *Sphere Renderer* där den konverteras till

bilddata med en sfär vid varje tidigare koordinat. Bilddatan ritas sedan ut på en *Canvas*.

4.2.3 ChargeNetworkHandler

En specificerad klass för att sätta upp och hantera laddningstäthetsvisualiseringen. Klassen genererar ett fullständigt nätverk för laddningstäthetsvisualisering och har funktioner för att alla parameterändringar som där behövs. Ärver *VolumeNetworkHandler* för att hantera volymrenderingsaspekten av visualiseringen.

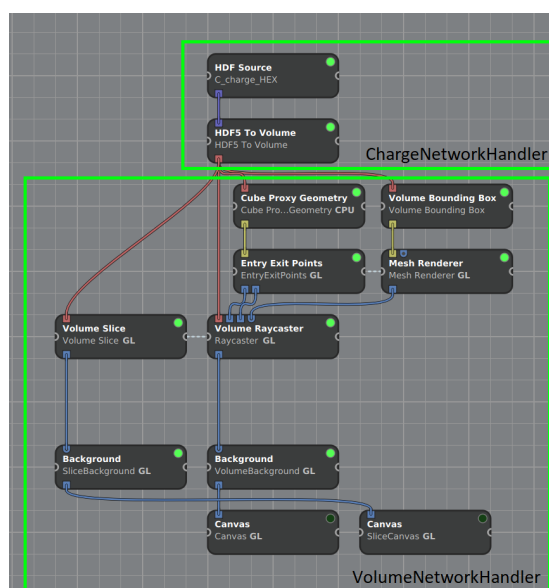


Figure 18: Nätverket som byggs upp då en *ChargeNetworkHandler*-instans initieras.

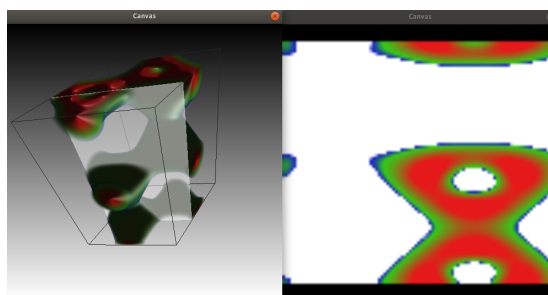


Figure 19: Resultande bild från nätverk i figur 18.

ChargeNetworkHandler börjar med kontrollera att den givna HDF5-filen har data för en laddningstäthetsvisualisering och kastar ett *AssertionError* om den inte har det. Den fortsätter sedan med att initiera sin superklass *VolumeNetworkHandler*. Denna sätter upp sin del av nätverket som indikerat i figur fig:charge_network_handler.

En *HDF5 Source* sätts upp och sedan sätts en *HDF5 To Volume* upp och anslutes till *HDF5 Source*. *HDF5 To Volume* hämtar ut volymdata från HDF5-filens */CHG/*

sökväg. Processorn genererar volymdata som i sin tur ansluts med volymrenderingsdelens volymdatainportar.

4.2.4 ELFNetworkHandler

ELFNetworkHandler är identisk i jämförelse med ChargeNetworkHandler med ett fåtal skillnader. Volymdata från HDF5-filen hämtas från sökvägen */ELF/* istället för */CHG/*. Detta gör att funktioner för att hämta och sätta aktiva band också är olika.

4.2.5 ParchgNetworkHandler

En specificerad klass för att sätta upp och hantera visualiseringen för partiell laddningstäthet. Ärver *VolumeNetworkHandler* och *UnitcellNetworkHandler* för att hantera volymrenderingsaspekten respektive atompositionsaspekten av visualiseringen.

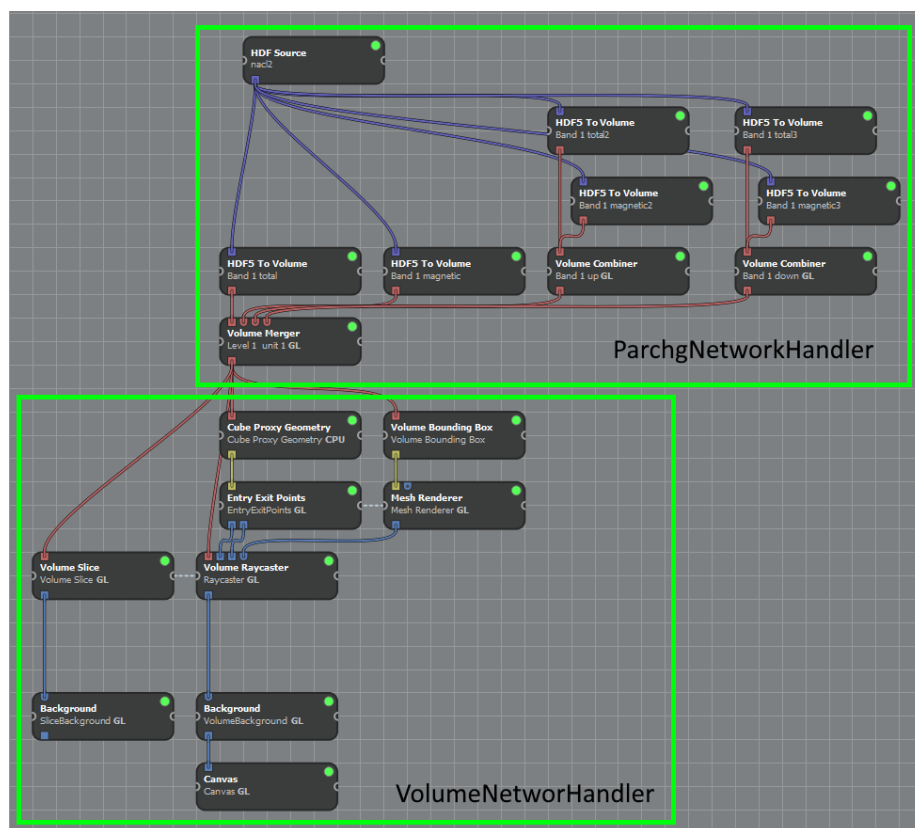


Figure 20: Nätverket som byggs av ParchgNetworkHandler (utan atompositionsrendering).

Till att börja med initieras superklassen *VolumeNetworkHandler* detta sätter upp det generiska volymrenderingsnätverket.

Efter detta initieras volymdatakällan och volymdataoutporten ansluts till volymrenderingsdelen av nätverket.

Volymkällan är här mer komplicerad i jämförelse mot övriga visualiseringar, eftersom flera olika volymdataset här ska visualiseras som en volym. Precis hur denna del ser ut beror på de bandval som görs av användaren.

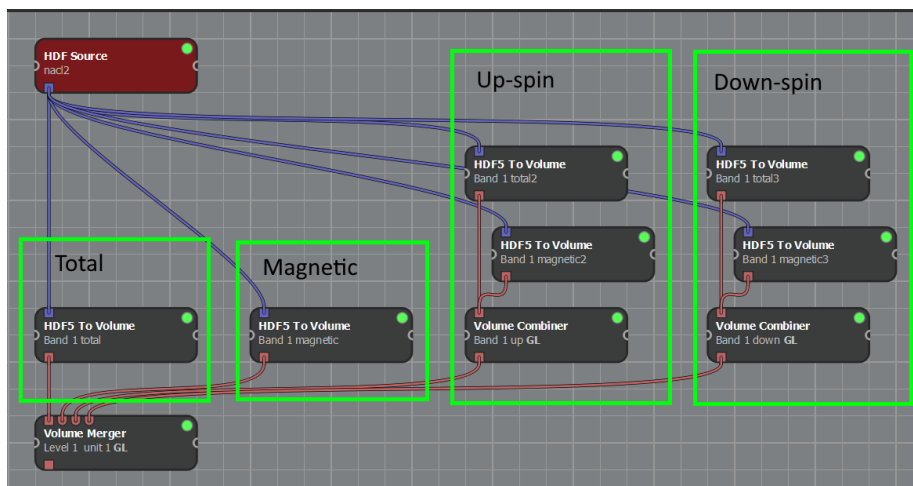


Figure 21: Exempel på nätverkets volymdatakälla med ett bandval för varje läge.

Den partiella laddningstäthetsvisualiseringen tillåter användaren att välja ett godtyckligt antal band som ska visualiseras och ett av fyra olika lägen för varje band. Dessa lägen är *Total*, *Magnetic*, *Up-spin*, och *Down-spin*. De olika lägena hämtar ut volymdata ur HDF5-filen på olika sätt.

- **Total:** Hämtar direkt volymdata från det valda bandets */total/* sökväg.
- **Magnetic:** Hämtar direkt volymdata från det valda bandets */magnetic/* sökväg.
- **Up-spin:** Hämtar ut både */total/* och */magnetic/* volymdata som $v1$ och $v2$. Volymerna summeras sedan med formeln $0.5*(v1+v2)$
- **Down-spin:** Hämtar ut både */total/* och */magnetic/* volymdata som $v1$ och $v2$. Volymerna summeras sedan med formeln $0.5*(v1-v2)$

Volymdata från de olika bandvalen kombineras sedan med en *Volume Merger*-processor. *Volume Merger* kan summera upp till fyra volymer till en. Om mer än fyra bandval har gjorts så används flera lager av *Volume Merger*-processorer för att kunna summera alla dessa till en. Volymdata från den sista *Volume Merger* skickas sedan till volymrenderingsnätverket.

4.2.6 LinePlotNetworkHandler

Hanterar den generella delen av en 2D-graf visualisering. Styr allt som har med 2D-grafen att göras, som skalning, axlar på grafen, med mera.

4.2.7 BandstructureNetworkHandler

Ärver *LinePlotNetworkHandler* och sätter upp den specifika delen för bandstructure visualiseringen. Styr HDF5-källan och bandval.

4.2.8 DOSNetworkHandler

Ärver LinePlotNetworkHandler och UnitcellNetworkHandler och sätter upp den specifika delen för tillståndstäthets visualiseringen. Styr HDF5-källan och val av tillstånd.

4.2.9 PCFNetworkHandler

Ärver LinePlotNetworkHandler och sätter upp den specifika delen för parkorrelations-funktions visualiseringen. Styr HDF5-källan och val av tidssteg.

4.2.10 FermiSurfaceNetworkHandler

Ärver Network handler och skapar en gränsnitt med några *Inviwo-properties*. Specifikt i *HDF5FermiSource*: *energy_band_expand*, *brillouin_zone* och *ISO-Raycaster*: *iso-value*. Mer detaljer finns i respective *Inviwo-process* dokumentation.

4.3 Datastrukturer

Två datastrukturer, Point och Function, har introducerats. En datastruktur är en form av behållare av olika typer av data som kan skickas mellan processorer. Dessa används i vissa av de implementerade processorerna.

4.3.1 Point

Denna datatyp representerar en reell 1D-punkt och inkapslar punktens värde (ett flyttal) samt variabel metadata.

4.3.2 Function

Denna datatyp representerar en reellvärd funktion av en reell variabel och inkapslar sampelvärden och variabel-metadata för x- och y-axlarna.

4.4 Processorer

För att kunna omvandla den data som översatts från VASP-beräkningar till en visualisering krävs processorer som utför specifika uppgifter. Figur 2 demonstrerar ett typiskt utseende på en processor.

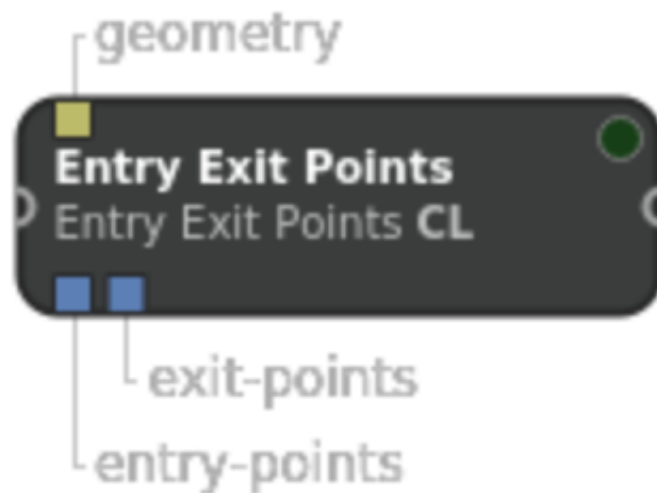


Figure 22: Exempel på en processors utseende.

De färgade rutorna till vänster på processorn i figur 22 är olika typer av ingångar och utgångar. Cirkeln i det övre högra hörnet på processorn i samma figur är en lampa som lyser då processorn är aktiv. De processorer som ENVISIoN skapat kategoriseras och beskrivs nedan.

4.4.1 Kristallstruktur

Nedanstående processorer är relaterade till visualiseringen av kristallstrukturer. De tillhör en modul vid namn Crystalvisualization.

CoordinateReader Från en HDF5-fil läser denna processor koordinater för atompositioner. En sökväg till ett dataset sätts via en StringProperty. Utdata från CoordinateReader är n stycken `vec3`.

Inport:

- `Hdf5::Inport inport_`

Utport:

- `DataOutport< std::vector<vec3> > outport_`

Properties:

- `StringProperty path_`

StructureMesh Atompositionsdata kopplas ihop med rätt atomfärg och radie med StructureMesh-processorn. StructureMesh har en multiinport, dit en eller flera CoordinateReader-processorer kan kopplas in. Indata för StructureMesh är atompositionsdata i form av `vec3` för varje atomslag. Till denna indata läggs properties för färg, radie och antal till för varje atomslag/processor som kopplas in. Den ger en mesh, som har buffrar för position, färg och radie.

Inport:

- `DataInport< std::vector<vec3>, 0> structure_`

Utport:

- `MeshOutport mesh_`

Properties:

- `FloatProperty scalingFactor_`
- `FloatMat3Property basis_`
- `BoolProperty fullMesh_`
- `IntProperty timestep_`
- `std::vector< std::unique_ptr<FloatVec4Property> > colors_`: vektor som innehåller färgproperty för varje atomslag
- `std::vector< std::unique_ptr<FloatProperty> > radii_`: vektor som innehåller radiieproperty för varje atomslag
- `std::vector< std::unique_ptr<IntProperty> > num_`: vektor som innehåller antalet atomer per tidssteg för varje atomslag
- `BoolProperty enablePicking_`: sann då picking-funktionen är påslagen
- `IntVectorProperty inds_`: vektor med index på valda atomer

4.4.2 HDF5

Nedanstående processorer är ämnade att fungera väl med de HDF5-relaterade processorer som är inkluderade i Inviwo.

HDF5PathSelection* Detta är en grupp av processorer som har funktionalitet liknande den inbyggda processorn `HDF5PathSelection`. En eller flera av dessa processorer placeras med fördel mellan en `HDFSource` och en eller flera `HDF5To*`.

Gemensamt för dessa processorer är att de på inporten tar en `Hdf5`-grupp och på utporten skriver noll eller flera av dessa omedelbara undergrupper.

Nedan beskrivs de olika processorerna i denna grupp.

HDFpathSelectionInt Denna processor väljer en HDF5-grupp med heltalsnamn, baserat på värdet på processorns `intProperty_`, eventuellt utökat med ledande nollor till bredden specificerat på processorns `zeroPadWidthProperty_`.

`HDF5PathSelectionInt` kan med fördel användas tillsammans med en `OrdinalPropertyAnimator` för att plocka ut relevant data ur en HDF5-fil.

Anledningen till att utdata ges som en vektor av HDF5-grupper, trots att processorn alltid skriver exakt en grupp på utporten, är att processorn ska följa samma mönster som, och fungera väl med, resterande processorer.

Inport:

- `DataInport<hdf5::Handle> hdf5HandleInport_`

Utport:

- `DataOutport< std::vector<hdf5::Handle> > hdf5HandleVectorOutport_`

Properties:

- IntProperty intProperty_
- IntSizeTPProperty zeroPadWidthProperty_

HDF5PathSelectionIntVector Denna processor väljer noll eller flera HDF5-grupper med heltalsnamn, baserat på värdet på processorns intVectorProperty_, eventuellt utökat med ledande nollor till berdden specificerat av processorns zeroPadWidthProperty_.

HDF5PathSelectionIntVector kan med fördel användas tillsammans med ”picking” för att plocka ut relevant data ur en HDF5-fil.

Inport:

- DataInport<hdf5::Handle> hdf5HandleInport_

Utport:

- DataOutport< std::vector<hdf5::Handle> > hdf5HandleVectorOutport_

Properties:

- IntVectorProperty intVectorProperty_
- IntSizeTPProperty zeroPadWidthProperty_

HDF5PathSelectionAllChildren Denna processor väljer den givna HDF5-gruppens alla undergrupper.

Inport:

- DataInport<hdf5::Handle> hdf5HandleInport_

HDF5To* Detta är en grupp av processorer som har funktionalitet liknande den inbyggda processorn HDF5ToVolume. Processorerna placeras med fördel efter en HDF5Source-processor, med en eller flera mellan liggande HDF5PathSelection*.

Gemensamt för dessa är att de som indata tar noll eller flera HDF5-grupper (baserat på *pathSelectionProperty_), plockar ut dataset för varje grupp och omvandlar dessa till relevanta objekt (Point eller Function) som sedan skrivs till utporten. Objektens variabel-metadata tas, om de finns tillgängliga, från attributen associerade med dataseten. Vidare kan, om så väljs med *namePrependParentsProperty_, metadata utökas med namnen på de grupper var i dataseten ligger.

Vilka dataset som kan väljas med *pathSelectionProperty_ uppdateras dynamiskt beroende på vilka grupper som ligger på inporten. När ett lämpligt dataset valts kan *pathFreezeProperty_ användas för att stänga av denna dynamik, så att värdet sparas även om grupperna på inporten (antagligen tillfälligt) ändras. Detta underlättar manuellt experimenterande samt användandet av processorer som tillfälligt ger noll grupper som utadat, t.ex. HDF5PathSelectionIntVector.

HDF5ToPoint Denna processor konverterar HDF5-data till noll eller flera Point-objekt.

Inport:

- DataInport<hdf5::Handle, 0, true> hdf5HandleFlatMultiInport_

Utport:

- DataOutput< std::vector<Point> > pointVectorOutput_

Properties:

- OptionPropertyString pathSelectionProperty_
- BoolProperty pathFreezeProperty_
- IntSizeTProperty namePrependParentsProperty_

HDF5ToFunction Denna processor konverterar HDF5-data till noll eller flera Function-objekt.

Normalt plockas två dataset per grupp ut, ett för x-axeln och ett för y-axeln. Om endast data för y-axeln finns tillgänglig kan implicitXProperty_ sättas, varvid processorn automatgenererar data för x-axeln.

Inport:

- DataInput< hdf5::Handle, 0, true> hdf5HandleFlatMultiInput_

Utport:

- DataOutput< std::vector<Function> > functionVectorOutput_

Properties:

- BoolProperty implicitXProperty_
- OptionPropertyString xPathSelectionProperty_
- OptionPropertyString yPathSelectionProperty_
- BoolProperty xPathFreezeProperty_
- BoolProperty yPathFreezeProperty_
- IntSizeTProperty xNamePrependParentsProperty_
- IntSizeTProperty yNamePrependParentsProperty_

4.4.3 2D

Nedanstående processorer är ämnade att bearbeta och presentera 2D-data, närmare bestämt data av typen Point och Function.

FunctionOperationUnary Denna processor implementerar en unär operator, antingen negation ($g_i(x) = -f_i(x)$) eller (multiplikativ) inversion ($g_i(x) = 1/f_i(x)$). Operatören appliceras på funktioner på inporten, en i taget, och skriver respektive resultat på utporten.

Inport:

- DataFrameInput dataframeInput_

Utport:

- DataFramOutput dataframeOutput_

Properties:

- `OptionPropertyString operationProperty_`

FunctionOperationNary Denna processor implementerar en operator med variabel aritet (engelska n-ary), antingen addition/summa ($g(x) = \sum_i f_i(x)$) eller multiplikation/produkt ($g(x) = \prod_i f_i(x)$). Operatoren appliceras på samtliga funktioner på inporten och skrver resultatet på utporten.

Då funktionerna på inporten kan vara samplade vid olika x-värden behöver processorn ta beslut om var ut-funktionen ska samplas. Processorn utgår från att sampla i samtliga x-värden för samtliga in-funktioner. `sampleFilterEnableProperty_` kan sättas för att filtrera dessa. Då `sampleFilterEnableProperty_` är satt ser processorn till att sampelavståndet är minst det värde som anges i `sampleFilterEpsilonProperty_`. När processorn skapas är `sampleFilterEnableProperty_` satt och `sampleFilterEpsilonProperty_` är 0 vilket innebär att x-värden som är identiska filtreras bort.

Om ett värde behöver beräknas vid ett x-värde där en in-funktion inte är samplat används linjär interpolation om x-värdet ligger innanför funktionens definitionsintervall. Om x-värdet ligger utanför detta intervall används `undefinedFallbackProperty_` för att avgöra vilket värde som används istället. Detta kan antingen vara noll eller funktionens värde vid intervallets relevanta ändpunkt.

Inport

- `org.envision.FunctionFlatMultiInport functionFlatMultiInport_`

Utport:

- `DataFramOutput dataframOutput_`

Properties:

- `OptionsPropertyString operationProperty_`
- `OptionsPropertyString undefinedFallbackProperty_`
- `BoolProperty sampleFilterEnableProperty_`
- `FloatProperty sampleFilterEpsilonProperty_`

LinePlot LinePlot tar en *DataFrame* som förväntas innehålla minst två kolumner med data. Den konstruerar en mesh som representerar en linjegrav. Denna mesh renderas sedan, förslagsvis med hjälp av en *2D Mesh Renderer*-processor för att generera en bild av grafen.

LinePlot genererar även en utbild att lägga över grafen som innehåller axelgraderingen. Axelgraderingen kan också den skickas in i *2D Mesh Renderer*-processorn och kommer då läggas ovanpå grafen.

Användaren väljer vilken kolumn i den *DataFrame* som processorn tar in som ska representeras på vardera axel genom val i `xSelectionProperty_` och `ySelectionProperty_`. Vill användaren välja multipla kolumner som ska representeras på y-axeln sätts `boolYSelection_` till sant för att sedan välja vilka kolumner i med hjälp av en sträng i `groupYSelection_`. Användaren kan även välja alla kolumner som inte representeras på x-axeln att representeras på y-axeln genom att sätta `allYSelection_` till sant.

Inställningar som har *range* i namnet justerar minimum- och maximumvärden på koordinataxlarna. Inställningar med *width* eller *colour* justerar bredd respektive färg för olika linjer ritade i diagrammet.

label_number_ anger antalet divisioner på koordinataxlarna. Är värdet till exempel satt till tjugo innebär det att varje axel kommer ha tjugo divisioner och tjugo axelgraderingsetiketter, utöver de etiketter på startvärdena på vardera axel.

font_ ställer in vilket typsnitt axelgraderingen skall ha.

enable_line_ aktiverar ritandet av en vertikal linje på x-koordinaten specificerad i *line_x_coordinate_*. Denna är avsedd att ge en visuell markering av var specifika x-värden finns på x-axeln.

Inport:

- DataFrameInport dataFrameInport_
- DataInport<Point, 0, true> pointInport_

Utports:

- MeshOutport meshOutport_
- ImageOutport labels_

Properties:

- OptionPropertyString xSelectionProperty_
- OptionPropertyString ySelectionProperty_
- StringProperty groupYSelection_
- BoolProperty boolYSelection_
- BoolProperty allYSelection_
- FloatVec4Property colour_
- FloatVec2Property x_range_
- FloatVec2Property y_range_
- FloatProperty scale_
- BoolProperty enable_line_
- FloatProperty line_x_coordinate_
- FloatVec4Property line_colour_
- BoolProperty show_x_labels_
- BoolProperty show_y_labels_
- FloatVec4Property axis_colour_
- FloatProperty axis_width_
- BoolProperty enable_grid_

- FloatVec4Property grid_colour_
- FloatProperty grid_width_
- FontProperty font_
- FloatVec4Property text_colour_
- IntProperty label_number_

DataFrameCollector

Processorn utför inga beräkningar, utan den samlar endast ihop DataFrame från ett godtyckligt antal andra processorer till endast en DataFrame. Behovet för denna processor dök upp då visualiseringen för tillståndstäthet uppdaterades. Önskan att välja specifika partiella tillstånd kunde uppfyllas med hjälp av denna processor.

Inport:

- DataInport<DataFrame, 0> dataframeInport_

Utport:

- DataFrameOutport dataframeOutport_

FunctionToDataFrame

Denna processor extraherar data från funktioner till en DataFrame där varje funktion ger upphov till två kolumner. All data i en funktion har även information om densamma, t.ex. variabelnamn och enhet. Namnet på vardera kolumn som skapas är dess variabelnamn från funktionen.

Processorn skapades då det tidigare inte funnits ett sätt att extrahera data från flera funktioner samtidigt. Då har lösningen varit att använda en processor för varje funktion som har data att extrahera. Problematiken med den lösningen är att en visualisering kan vara väldigt tidskrävande. En visualisering av bandstruktur kan potentiellt ha flera hundra funktioner. Med FunctionToDataFrame kan detta göras med endast en processor.

Inport:

- DataInport<Function, 0, true> functionFlatMultiInport_

Utport:

- DataFrameOutport dataframeOutport_

4.4.4 Fermi

HDF5FermiSource

Process used for reading HDF5 data pertaining to fermi surface data

Output:

volumeOutput: ivw.data.VolumeOutput Final processed data

Properties:

energy_band: ivw.properties.IntProperty Specifiees the band that should be read from the HDF5 file

is_brillouin_zone: ivw.properties.BoolProperty Specifies if the data should be translated to birlouin zone

is_expanded_zone: ivw.properties.BoolProperty Specifies if the data should be translated to expanded zone. Note if is_brillouin_zone is set this property will be overridden

__init__(self, id, name):

id: str ID given to the process

name: str name given to the process

brillouin_zone(self, matrix, basis) Transforms reciprocal lattice to brillouin zone

Parameters:

matrix: numpy.array 3D Matrix should represent reciprocal lattice

basis: Reciprocal basis vectors

Return: Matrix representing the brillouin zone

expanded_zone(self, matrix) Expands given matrix 4 quadrents

Parameters:

matrix: numpy.array 3D Matrix should represent reciprocal lattice

Return: Expanded matrix

process(self, matrix, basis) Reads hdf_file set in self.filename, normalises the data and translates it to an *Inviwo-Volum*

Additional options to expand the data and to translate the data to brillouin zone are possible through the *Inviwo-properties*

Returns: None

4.5 Properties och widgets

4.5.1 IntVectorpropety

Denna property består av en vektor av int-värden.

4.5.2 IntVectorPropertyWidget

En widget för IntVectorProperty. ”Textbox”, satt till endast läsning (read only), som innehåller de värden som finns i tillhörande IntVectorProperty.

5 Envisionpy

ENVISIoNs pythonkod ligger i en modul kallad *envisionpy*. Det är i denna som all pythonfunktionalitet som diskuteras i andra kapitel ligger. Modulen har skapats för att man relativt enkelt ska kunna importera ENVISIoNs funktionalitet från ett annat godtyckligt pythonskript (exempelvis som det används i det senare beskrivna GUI-systemet [GUI]).

Envisionpy har två undermappar, *processor_network* och *hdf5parser*. I dessa ligger de pythonfiler som beskrivs i 4.2 respektive 3. Den har även en undermapp *utils* där speciella Exception-klasser och fil med atomdata ligger.

5.1 EnvisionMain

Envisionpy har en klass kallad *EnvisionMain*. Denna klass har som uppgift att bilda ett gränssnitt som annan pythonkod kan styra all ENVISIoNs visualiserings- och parsningsfunktionalitet från. När ett *EnvisionMain*-objekt initieras så startar denna sin egen instans av Inviwo, med hjälp utav *inviwopyapp*, som den kör i bakgrunden. Detta tillåter att Inviwos visualiseringsfunktionalitet används utan att dess gränssnitt visas.

EnvisionMain kan genom funktionsanrom köra parsning och starta ett godtyckligt antal visualiseringar genom att initera *NetworkHandler*-klasser.

Alla *NetworkHandler*-objekt sparas i en dictionary, *networkHandlers*, under en speciell identifikations-sträng som specificeras då objektet initieras.

De funktioner som primärt används i *EnvisionMain* är *handle_vis_request* och *handle_parse_request*. Det är via dessa funktioner som parsnings- och visualiseringssystemen styrs.

5.1.1 handle_vis_request

För att påverka visualiseringarna så används *handle_vis_request*-funktionen. Denna tar ett argument kallat *request*. *request* en lista på följande form :

[ACTION, HANDLER_ID, [PARAMETERS...]].

ACTION är en sträng som beskriver vilken funktion som ska köras. En dictionary, *action_dict*, finns som översätter olika strängar till funktioner.

HANDLER_ID ska innehålla en identifikationssträng för det *NetworkHandler*-objekt som funktionen ska köras på. Om en ny visualisering ska startas så specificerar den id för det nya *NetworkHandler*-objekt som kommer att skapas.

[PARAMETERS...] är en lista av parametrar som den specificerade funktionen ska kallas med.

Funktionen returnerar en lista på följande form:

[ACTION, STATUS, HANDLER_ID, RESPONSE_DATA] där:

ACTION och HANDLER_ID är samma strängar som funktionen tog emot.

STATUS är en bool som signalerar om funktionen lyckades eller misslyckades.

RESPONSE_DATA är någon godtycklig data som funktionen som körts har returnerat, sätts till *None* om ingen data returneras.

5.1.2 handle_parse_request

Motsvarande finns en funktion för att köra parsningsfunktioner, *handle_parse_request*. Denna tar också ett argument som ska vara en lista på följande form: [[PARSE_TYPES...], HDF5_PATH, VASP_PATH] där:

`[[PARSE_TYPES...]]` är en lista med strängar som signalerar vilka parsningstyper som ska utföras.

`HDF5_PATH` är en sträng som specificerar var hdf5 filen ska sparas.

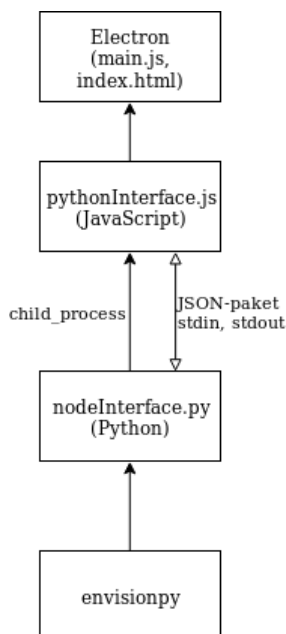
`VASP_PATH` är en sträng som signalerar var data ska läsas ifrån.

6 GUI-systemet

Det grafiska användargränssnittet har skapats för att underlätta användandet av ENVISION. GUI:t möjliggör att ENVISION kan köras utan att öppna Inviwos användarfönster.

GUI:t är utvecklat som en websida och körs med hjälp utav Electron. Gränssnittet är skrivet med HTML, CSS, och JavaScript.

6.1 Kommunikation med envisionpy



Skiss över GUI-systemet

För att GUI-systemet ska kunna använda sig av envisionpy så används nodemodulen `child_process`. `child_process` tillåter att man från JavaScript startar en pythonprocess som kör ett specificerat skript.

För att kommunicera mellan processerna så kan python-processens stdin och stdout användas. JavaScript- och Python-processerna skickar JSON-objekt kodade som strängar på detta sätt. När ett JSON-paket tas emot så parsas det och funktioner körs beroende på innehållet.

Detta görs i filerna `pythonInterface.js` och `nodeInterface.py`.

Från JavaScript så startas en `child_process` som kör pythonskriptet `nodeInterface.py`. Detta skript sätter upp kommunikationen med JavaScript och initierar en instans av `envisionpy.EnvisionMain`.

6.1.1 JSON-paket specifikation

JSON-objekten som skickas via stdin och stdout från och till python är på följande form:

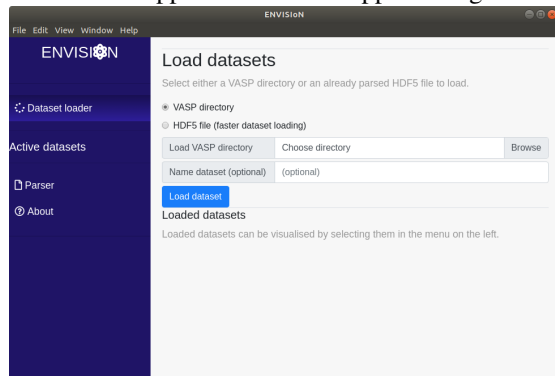
`{tag: TAG_STRING, data: DATA}` där

TAG_STRING: Är en sträng som specificerar vad datapaketet har att göra med. I nuläget så används följande taggar. *"envision request"* då en visualisering ska påverkas. *"parse request"* då parsning ska utföras. *"response"* då paketet innehåller svarsinformation om en utförd funktion.

DATA är någon godtycklig data. Exakt vad den innehåller varierar stort.

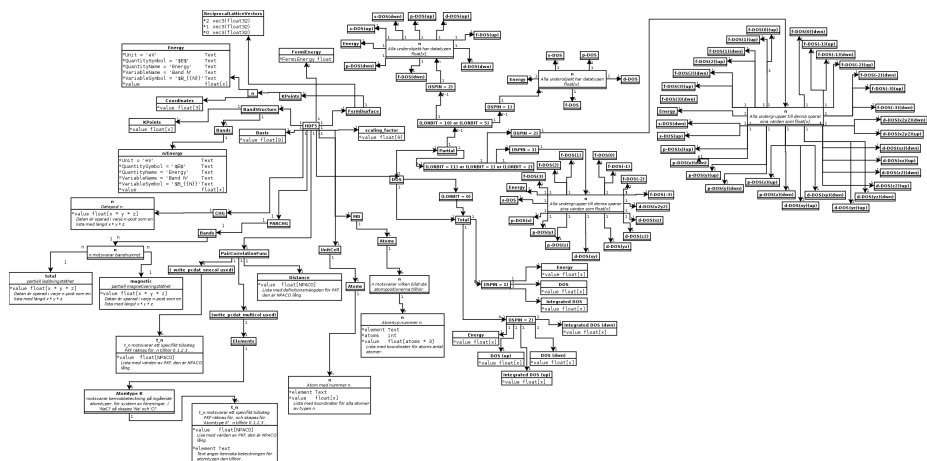
6.2 Utseende

När ENVISIoN-applikationen körs öppnas det grafiska gränssnittet.



GUI utseende vid start i Linux

7 Appendix A - ENVISIoNs HDF5-filstruktur



References

- [Inviwo] *Inviwo* <https://inviwo.org/>, (hämtad 2019-05-10)
- [API] [https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/api-\(data\)](https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/api-(data)) (hämtad 2019-05-16)
- [BSD2] *BSD2*, <https://opensource.org/licenses/BSD-2-Clause> (hämtad 2019-05-10)
- [Cpp] C++, textit{<http://www.cplusplus.com/info/description/>} (hämtad 2019-01-28).
- [dict] *Data Structures*, <https://docs.python.org/3/tutorial/datastructures.html> (hämtad 2019-05-17).
- [Fermi-energi] *Solid State Physics*, Neil Ashcroft och David Mermin, 1976, s. 141.
- [Git] *Git*, <https://git-scm.com> (hämtad 2019-01-28).
- [GUI] *GUI*, [https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/api-\(data\)](https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/api-(data)) (hämtad 2019-05-10)
- [HowToUseHDF5FilesinPython] *How To Use HDF5 Files in Python*, <https://www.pythonforthe lab.com/blog/how-to-use-hdf5-files-in-python/>, (hämtad 2019-02-26).
- [Python] *Python*, <https://www.python.org/>, (hämtad 2019-01-28)
- [Python3] *Python3* <https://docs.python.org/3/>, (hämtad 2019-05-10)
- [PyQT] *PyQT* <https://www.riverbankcomputing.com/static/Docs/PyQt5/>, (hämtad 2019-05-16)
- [WhatIsArray] *Python Arrays*, <https://www.programiz.com/python-programming/array#introduction>, (hämtad 2019-05-21).
- [WhatIsUNIX] *What is UNIX?*, <https://www.softwaretestinghelp.com/unix-introduction/>, (hämtad 2019-05-21).
- [wxPython] *wxPython*, <https://wxpython.org/pages/overview/>, (hämtad 2019-05-16)
- [wxPythonDoc] *wxPython Documentation*, <https://docs.wxpython.org/wx.1moduleindex.html>, (hämtad 2019-05-17)
- [QuickStartGuide] *Quick Start Guide*, <http://docs.h5py.org/en/stable/quick.html#appendix-creating-a-file>, (hämtad 2019-02-26).
- [RadialDistributionFunction] *Radial distribution function*, https://en.wikipedia.org/wiki/Radial_distribution_function, (hämtad 2019-03-03).

- [HDFGroup] *The HDF Group, Hierarchical Data Format, version 5 1997-2019*, <https://support.hdfgroup.org/HDF5/>, (hämtad 2018-01-28).
- [HDFGroup2] *The HDF Group. High Level Introduction to HDF5. 23 Sept. 2016*, <https://support.hdfgroup.org/HDF5/Tutor/HDF5Intro.pdf>, (hämtad 2019-01-28).
- [Unittest] *Unittest*, <https://docs.python.org/3/library/unittest.html>, (hämtad 2019-03-06).
- [VASP] *VASP*, <https://www.vasp.at/index.php/about-vasp/59-about-vasp>, (hämtad 2019-02-26).