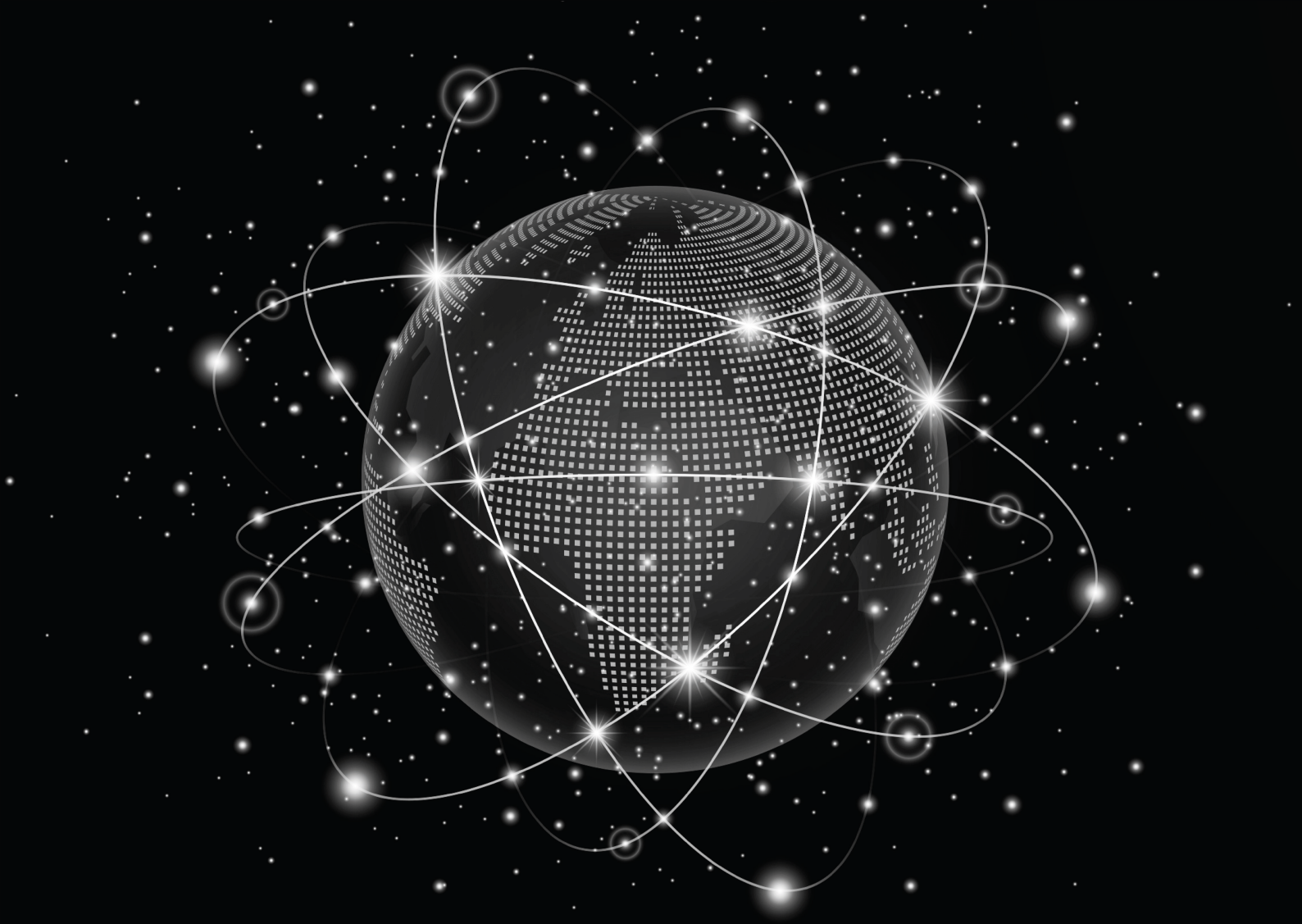


En multimodal nätverksanalys av rymddomänens utveckling genom tre eror

En longitudinell studie över kalla kriget, den eviga freden och den moderna rymdåldern

Linn Mattsson, Frank Guldstrand, Jonatan Westman

FOI-R--5682--SE

Januari 2025

Linn Mattsson, Frank Guldstrand,
Jonatan Westman

En multimodal nätverksanalys av rymddomänens utveckling genom tre eror

En longitudinell studie över kalla kriget, den eviga freden och den moderna rymdåldern

Titel	En multimodal nätverksanalys av rymddomänens utveckling genom tre eror – En longitudinell studie över kalla kriget, den eviga freden och den moderna rymdåldern
Title	A multimodal network analysis of the evolution of the space domain through three eras
Rapportnr/Report no	FOI-R--5682--SE
Månad/Month	Januari
Utgivningsår/Year	2025
Antal sidor/Pages	39
ISSN	1650-1942
Uppdragsgivare/Client	Försvarsmakten
Forskningsområde	Flygsystem och rymdfrågor
FoT-område	Underrättelse- och säkerhetstjänst
Projektnr/Project no	E85099
Godkänd av/Approved by	Lars Höstbeck
Ansvarig avdelning	Försvarsteknik

Bild/Cover: Shutterstock

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

Rymddomänen har genomgått en dramatisk utveckling där bland annat kommersialisering resulterat i en explosion av statliga och ickestatliga aktörer. Rymden ses även som en operativ domän för krigföring. Därför finns ett ökat behov av förståelse sett till domänens utveckling, aktörerna i den, samt relationerna mellan olika typer av aktörer. Tidigare forskning inom området baseras ofta på kvalitativa och kvantitativa analyser av enskilda aktörer, men det har på senare år publicerats studier där nätverksanalys tillämpats. Dessa nyttjar ofta relativt statiska datamängder under avgränsade tidsrymder såsom internationella avtal mellan stater. I andra fall har öppna källor kring datadelningsavtal mellan statliga och kommersiella aktörer använts. I detta arbete används en datamängd innehållandes satelliter, ägare, tillverkare, uppskjutningsorganisationer och uppskjutningsplatser. Genom strukturella ansatser kring hur dessa relaterar till varandra, tillsammans med datumet för satellitens uppskjutning, möjliggörs att mer dynamiskt illustrera och analysera satellit- och uppskjutningsnätverk för att förstå rymddomänens utveckling. Genom en multimodal nätverksanalys beskrivs rymddomänen genom tre eror: kalla kriget, den eviga freden och den moderna rymdåldern. Resultaten visar att rymddomänen utvecklats från ett mindre nätverk med två tydliga poler under kalla kriget genom en sammanflätad tid av samarbete under den eviga freden till en multipolär modern rymdålder.

Nyckelord: Rymddomänen, rymdaktörer, social nätverksanalys, satelliter, uppskjutningsplatser

Summary

The space domain has undergone a dramatic evolution, in part due to commercialization, which has resulted in an explosion of state and non-state actors. Furthermore, space is now considered a domain for warfare. This results in an increasing need to better understand the evolution of the domain, its actors, and the relations between them. Previous research in the field have tended to rely on qualitative and quantitative analyses of individual actors. However, recent years have seen studies applying network analysis to the space domain. These use relatively static data pertaining to international agreements between states, or discrete time periods of data-sharing agreements between state and commercial actors. This work instead applies structural network motifs to a dataset containing satellites, owners, manufacturers, launch organizations, and launch sites together with launch dates, enabling a dynamic illustration and analysis of satellite and launch networks. Through multimodal network analysis, we study the space domain over three eras: the cold war, the perpetual peace, and the modern space age. Our results show how the space domain has evolved from a smaller network with two poles, to a period of intertwined cooperation, and finally a multipolar modern space age.

Keywords: Space domain, space actors, social network analysis, satellites, launch sites

Innehållsförteckning

1 Inledning 7
1.1 Syfte 7
1.2 Avgränsningar 7
1.3 Läsanvisningar 7
2 Bakgrund 8
2.1 Tidigare forskning inom projektet 8
2.2 Tidigare forskning inom fältet 9
3 Metod 11
3.1 Datamängd, insamling och bearbetning 11
3.2 Generering av grafobjekt 12
3.2.1 Nätverksvisualisering 13
3.2.2 Identifiering av tätt sammankopplade grupper av noder 14
3.3 Tidsserieanalys av grafobjekt 14
4 Resultat 15
4.1 Satellitnätverk 15
4.1.1 Kalla kriget 15
4.1.2 Eviga freden 18
4.1.3 Moderna rymdåldern 21
4.2 Uppskjutningsnätverk 24
4.2.1 Kalla kriget 24
4.2.2 Eviga freden 26
4.2.3 Moderna rymdåldern 29
4.3 Tidserieanalys av satellitnätverkets utveckling 32
5 Diskussion 35
5.1 Reflektioner kring datamängderna 35
5.2 Metodens styrkor och svagheter 35
5.3 Möjliga vägar framåt för utveckling av metoden 35
5.4 Diskussioner kring resultat 36
6 Slutsatser 37
7 Referenser 38

1 Inledning

Rymddomänen tilldrar sig ett ökande kommersiellt och militärt intresse [1], och med det följer ett tilltagande behov hos flera intressenter att bättre förstå de olika aktörerna inom domänen, samt deras relationer och beroenden. Hittills har studier av nationella rymdaktörer främst betraktat aktörer enskilt, med relativt få försök till studier av inbördes relationer. Dessa inbördes relationer kan exempelvis påvisa styrkor, beroenden, inflytande och övergripande trender.

1.1 Syfte

Den övergripande problemformuleringen för forskningen som återges i denna rapport handlar på lång sikt om hur social nätverksanalys (SNA) kan tillämpas för att studera rymdaktörers externa relationer och samarbeten.

Utgående från tidigare utfört arbete kring analys av enskilda nationella rymdaktörer [2] samt en tidigare utförd förstudie om metoder för SNA tillämpat på rymdaktörer [3], syftar föreliggande arbete till att fördjupat utforska tillämpbarheten av metoder inom SNA för systematiserad analys av relationerna mellan dessa aktörer. Specifikt utforskas detta utifrån användning av för arbetet nya:

- metoder och mått inom SNA
- datorbaserade verktyg
- datamängder.

1.2 Avgränsningar

Arbetet är tänkt att vara utforskande och framåtblickande med tillräcklig vetenskaplig höjd för att kunna publiceras vetenskapligt. Arbetet syftar inte till att ta fram operativa verktyg utan fokus är på att testa och utvärdera metoder, modeller och koncept.

1.3 Läsanvisningar

Grundläggande teori och begreppsbildning kring SNA utelämnas i denna rapport. För en genomgång av detta kan läsaren exempelvis vända sig till den tidigare utförda förstudien [3].

2 Bakgrund

FOI bedriver omvärldsbevakning och -analys inom rymdområdet med fokus på försvars- och säkerhetsfrågor. Denna verksamhet har pågått sedan 2003 på uppdrag av Försvarsmakten. Arbetet har i huvudsak omfattat analys av tekniktrender, olika aktörer och utvecklingen av domänen som helhet. Det innefattar exempelvis ekonomiska och säkerhetspolitiska aspekter.

Rymdområdet har på senare år utvecklats och förändrats snabbt. Exempel på det som driver förändringen är det ökade antalet aktörer som får stor inverkan på domänen, samt att flera aktörer hanterar rymden som ytterligare en operativ domän för kris, konflikt och krig [1]. Det finns i dag en mängd olika aktörer med olika mål och intressen inblandade. För att förstå och tolka en aktörs agerande i rymddomänen är det därför av vikt att kunna få en förståelse för en aktörs kapacitet, relationer, möjliga intressen och intentioner kopplat till rymddomänen. En aspekt av denna förståelse, som inte fångats i tidigare metodarbete, utgörs av de statliga aktörernas inbördes relationer.

2.1 Tidigare forskning

Under 2022 gjordes en förstudie kring metoder för social nätverksanalys tillämpat på rymdaktörer [3]. Arbetet var främst inriktat på utforskande av metoder, datamängder, olika typer av mått inom SNA samt verktyg för grafisk representation av datamängderna.

Utifrån förstudiens rekommendationer för fortsatt arbete bedrevs sedan vidare forskning under 2023 och 2024. Delar av arbetet utgjordes av SNA baserad på internationella rymdhandelsdata [4]. I studien undersöker författarna hur rymdhandelsnätverket har förändrats över de senaste 20 åren genom att skapa och analysera ett unimodalt[1] riktat och viktat nätverk för den internationella rymdhandeln, där noderna representerar stater och kanterna dess handelsvägar. En longitudinell studie gjordes för att utvärdera nätverkets densitet mellan 2002 och 2022 som bland annat visar ett skifte i nätverket runt år 2014 där den efterföljande tidsperioden uppvisar en kraftig tillväxt av statsaktörer och handelsvägar i former av ett ökat antal noder och kanter (se beskrivningar i kapitel 3). En analys av centralitetsmåtten gradcentralitet, *page rank, authorities* och *hubs*, genomfördes också för ett urval sedan tidigare kända stora rymdaktörer över 20-årsperioden. Ett intressant resultat är att Frankrike och USA har haft alternerande perioder där de dominerat i nätverket, sett till att stå för den största handeln, men att Storbritannien ökat antal handelsvägar och är från år 2020 den aktör som har flest kanter i nätverket. Författarna menar att resultaten visar på att nätverksanalys kan nyttjas för att demonstrera den dynamiska evolutionen inom den globala rymdhandeln samt att den kan användas för att göra observationer kring rymddomänens utveckling. Tillvägagångssättet ses inte vara begränsat till rymddomänen eller datamängden handelsdata utan torde vara bredare tillämpbart på andra liknande datamängder.

[1] Ett unimodalt nätverk består av noder av en och samma typ, till skillnad från ett nätverk med flera olika typer av noder som kallas multimodalt.

2.2 Tidigare forskning inom fältet

I samband med arbetet som återges i denna rapport genomfördes en litteraturstudie som försökt besvara frågorna nedan för att kunna sätta arbetet i ett sammanhang och bedöma dess relevans:

1. Vilken typ av analys har gjorts av rymdaktörer tidigare?
2. På vilka sätt har social nätverksanalys använts för att förstå rymddomänens aktörer?
3. Vilka typer av frågor är lämpliga att besvara med social nätverksanalys?

Nedan redogörs för ett urval studier och analyser som utvärderats som en del av litteraturstudien i förhoppning att ge läsaren en bakgrund av fältet och forskningsfronten inom området nätverksanalys av rymdaktörer.

Tidigare forskning relaterad till analys av rymdaktörer tillämpar en rad olika metoder. Ett exempel är en metod framtagen av Aliberti [5] år 2023 för att utvärdera rymdmakt. Med denna metod utvärderas en aktör utifrån 94 olika indikatorer, indelade i underkategorier, som summeras till två index (vilka mäter förmåga till autonomt beslutsfattande och verkställande kapacitet) och placerar aktören i en tvådimensionell matris. Detta möjliggör jämförelser mellan olika aktörer och författarna menar att olika regioner i matrisen representerar olika kategorier av rymdaktörer. Ett annat exempel är en metod för bedömning av rymdaktörer framtagen på FOI av Hallgren och Westman [2] år 2021 där 14 områden utvärderas och sammanställs i ett diagram för enkel översyn och jämförelse mellan olika rymdaktörer. I en studie utförd av Adams [6] utvärderas kvalitativt samhällsnyttan med internationella samarbeten mellan rymdmyndigheter i syfte att kunna dra lärdomar och ge råd till nybildade rymdmyndigheter. På liknande tema har offentliga investeringar i rymdsektorn utvärderats, sett till vilka ekonomiska och sociala effekter offentliga investeringar resulterar i, vilket utmynnat i ett ramverk för framtida utvärderingar [7]. En nackdel med dessa metoder är att de ger relativt lite information om rymdaktörers relationer till varandra och därmed om relationernas eventuella påverkan.

På senare år har detta behov synliggjorts genom att ett antal studier som tillämpar nätverksanalys för att studera rymdaktörer publicerats. Dessa fokuserar till stor del på att använda internationella avtal och dokumentation om samarbeten som relationell data på vilken man baserar sin analys. Återkommande teman har varit att försöka klassificera eller kategorisera aktörers position i nätverket samt att ta fram metoder för att utvärdera aktörers makt i relation till varandra. I en artikel av Ben-Itzhak [8] från år 2022 studeras bilaterala rymdavtal mellan länder för att identifiera olika block inom rymdsektorn innan och efter år 2008. I en studie från år 2024 studerar Beaumier [9] utvecklingen av styrning och organisationsstrukturer inom rymdsektorn genom att analysera internationella bilaterala avtal mellan rymdorganisationer och stater med hjälp av nätverksanalys. Studiens slutsats indikerar att hybridorganisationer[2], som den europeiska rymdorganisationen *European Space Agency* (ESA), utgör broarna mellan olika kluster i ett relativt fragmenterat nätverk. Morin och Tepper [10] gör i en studie från år 2023 en jämförelse mellan Kinas och USA:s strukturella makt i rymddomänen. Även här nyttjas en datamängd bestående av internationella överenskommelser mellan stater eller mellan rymdorganisationer. Den strukturella makten utvärderas genom att analysera olika mått av centralitet[3] för USA och Kina.

Andra exempel på nätverksanalys som gjorts är: en studie från år 2021 där datadelningsavtal gällande rymdlägesbildsdata[4] mellan stater och kommersiella organisationer används för att

[2] Med hybridorganisationer menar Beaumier organisationer som delar vissa karakteristiska drag med olika typer av organisationsstrukturer, så som myndigheter samt kommersiella eller internationella organisationer.

[3] I denna studie använder Morin och Tepper måtten: Gradcentralitet (*degree centrality*), närhetscentralitet (*closeness centrality*), egenvektorscentralitet (*eigenvector centrality*) och mellanliggandecentralitet (*betweenness centrality*).

[4] Rymdlägesbildsdata avser i detta sammanhang främst data från inmätningar av rymdobjekt, såsom satelliter och rymdskrot, för att kunna bestämma i vilka banor de befinner sig.

kartlägga hur den delen av rymdsektorn vuxit [11], en studie av rymdsektorns industriella ekosystem [12] och hur satellitbilder nyttjas inom jordbruket [13].

En slutsats som dragits från litteraturstudien är att avtal mellan rymdaktörer utgör en robust grund för nätverksanalys av rymddomänen och ovan nämnda studier visar på bredden av analyser som kan göras. Dock tenderar internationella avtal att vara statiska där endast nya avtal mellan olika parter gör datamängden något dynamisk [14]. På grund av rymdavtalens långsiktighet är det inte lika vanligt att parter drar sig ur avtal, även om det förekommer. För att studera snabbare förändringar i rymddomänen behövs andra typer av datamängder där denna dynamik speglas [4]. Många analyser styrs och begränsas därmed av den datamängd som är tillgänglig, vilket diskuteras av Clark med flera [7]. För vissa analyser krävs proxyvariabler eller indikatorer för att tolka den information som är av intresse, vilket försvårar processen och introducerar större osäkerheter. Likaså kan extra arbete krävas för att få tillgång till den specifika datamängden som önskas [11]. Gemensamt för de nätverksanalyser som studerats ovan är användningen av centralitetsmåtten som ett möjligt mått för att ställa olika aktörer eller koncept mot varandra både för en nulägesbild eller för en diskretiserad tidsserie.

3 Metod

För att utforska rymddomänens utveckling och interaktionen mellan olika aktörer tillämpas social nätverksanalys. Metoden har en lång historia och har i kombination med den digitala utvecklingen blivit ett kraftfullt verktyg för visualisering och interaktiv utforskning av datamängder och kunskap. I ett nätverk definieras en eller flera noder, som representerar ett objekt, aktör eller annan entitet, och sammankopplande länkar, eller kanter, vilka beskriver deras relation. Det är även möjligt att vidare definiera attribut associerade till både nod eller kant som på så sätt bygger ett allt mer informationsrikt nätverk. På så vis kan grafer, som nätverk även kallas, utgöra databaser och användas för indexerande, sökande och förståelse av kunskap. I förlängningen kan dessa utgöra så kallade kunskapsgrafer som beskrivs utförligare av Johansson m.fl. [15]. Inom nätverksanalys tillämpas ofta olika typer av centralitetsmått för både noder och kanter. Dessa bedömer på olika sätt centralitet eller strukturell position i nätverket och kan användas för vidare tolkning av inflytande och roll. Vanligt förekommande sådana mått är exempelvis gradcentralitet, det vill säga antalet kopplingar till en nod, eller mellanliggandecentralitet, ett mått på hur ofta en nod förekommer på de kortaste vägar som finns mellan andra noder i nätverket. Mellanliggande centralitet kan därför vara ett mått på hur väl noden sammankopplar andra noder i nätverket. I detta arbete används endast den oviktade gradcentraliteten vilket möjliggör vidare arbete där andra centralitetsmått utforskas. För en mer djupgående redogörelse av nätverksanalys hänvisas läsaren till Wasserman & Faust [16].

I detta kapitel redogörs för hur nätverksanalys tillämpats samt den datamängd som använts vid studerandet av rymdålderns utveckling och de aktörer som verkar i domänen. Aktörerna och deras kopplingar, både vad gäller uppskjutningen av satelliter och satelliternas ägarskap och tillverkning, har hämtats från öppna källor tillgängliga via internet.

3.1 Datamängd, insamling och bearbetning

Arbetet nyttjar uppgifter om satelliter från den öppet tillgängliga databasen *General Catalog of Artificial Space Objects* [17] som utgör en löpande sammanställning av de satellituppskjutningar som skett från år 1957 och framåt. Katalogiseringen och sammanställning utförs och tillgängliggörs av Jonathan McDowell, en forskare verksam vid *Harvard-Smithsonians Center for Astrophysics.* Sammanställningen sker dock självständigt från denna affiliering med stöd från arkivmaterial och andra bidragande forskare. Således uppdateras katalogen ofta mycket snabbt. Uppgifter från, och intervjuer med, McDowell förekommer ofta i analyser av rymddomänen [18, 19, 20, 21], utöver de rapporter som McDowell själv sammanställer.

Denna studie använder två tabeller från den generella katalogen: *Orbital Launch Log* [22] och *Standard Satellite Catalog* [23]. Tabellerna innehåller ett flertal kolumner med mycket information. I denna del redogör vi kortfattat för den del av informationen som använts för arbetet. I den första tabellen, *Orbital Launch Log*, sammanställs uppskjutningar bland annat sett till vilka satelliter som skjutits upp tillsammans med bärraket, uppskjutningsplats och den uppskjutningsorganisation som genomförde den. I den andra tabellen, *Standard Satellite Catalog*, sammanställs satelliterna med uppgifter om bland annat driftsägare, eller operatör, av satelliten och information om vem som byggde den. En komplementär tabell vid namn *The Space Organizations Catalog* [24], tillgängliggör ytterligare information om de förkortade koder som används för de olika entiteter som listas i katalogen i stort. FOI hämtar löpande information från katalogen och sammanställer den i den interna rymdobjektsdatabasen *El-Corazon* [25]. För detta arbete användes data tillgänglig den 15 oktober 2024.

Då det i satellitkatalogen listas ägare i flera led har vi i efterbearbetningen av datamängden ersatt ägare med den huvudsakliga, verkliga, ägaren. Som exempel ersätts *OHB Sweden* av ägaren *OHB Tyskland* och till sist den slutgiltiga huvudsakliga ägaren familjen Fuchs, vilket kan bekräftas från källor på företagets hemsida [26].

I vårt arbete har de satelliter som registrerats som sovjetiska innan 1991 för enkelhetens skull omklassificerats som ryska, för att få kontinuitet i datamängden och en möjlighet att jämföra över tid. Det finns även mellanstatliga organisationer listade som stater i tabellen, exempelvis den europeiska rymdorganisation ESA. Vi har i denna rapport valt att behålla dessa annoteringar. Till sist har vi även valt att exkludera rader i databasen som markerats som osäkra i katalogen.

3.2 Generering av grafobjekt

Två huvudsakliga typer av ickeriktade nätverk har definierats i detta arbete: uppskjutningsnätverk och satellitnätverk. I uppskjutningsnätverket beaktas den aktör som ansvarade för uppskjutningen tillsammans med platsen för uppskjutningen kopplat till den stat som den rymdsatta[5] satelliten sedan registrerats på enligt katalogen *Orbital Launch Log*, beskriven i föregående avsnitt. I satellitnätverket nyttjas i stället driftsägaren av satelliten tillsammans med, den för satelliten angivna, tillverkaren och den stat som satelliten registrerats som tillhörande enligt katalogen *Standard Satellite Catalog.* Vi har valt att skapa separata nätverk då dessa grundar sig på två separata (men relaterade) kataloger och att de tillsammans utgör en stor informationsrik datamängd. Det finns dock möjligheter att framgent eventuellt sammanfoga dessa genom datamängdsreduktion.

I bägge fallen görs en multimodal ansats där tre olika typer av huvudnoder definierats och beskrivs nedan för vardera nätverk. Kanterna mellan noderna viktas enligt det antal satelliter som sammankopplar noderna. För uppskjutningsnätverket utgörs kopplingarna av de under tidsrymden rymdsatta satelliter som sammanlänkar följande tre noder:

- staten som satelliten registrerats på
- uppskjutande organisation
- uppskjutningsplats.

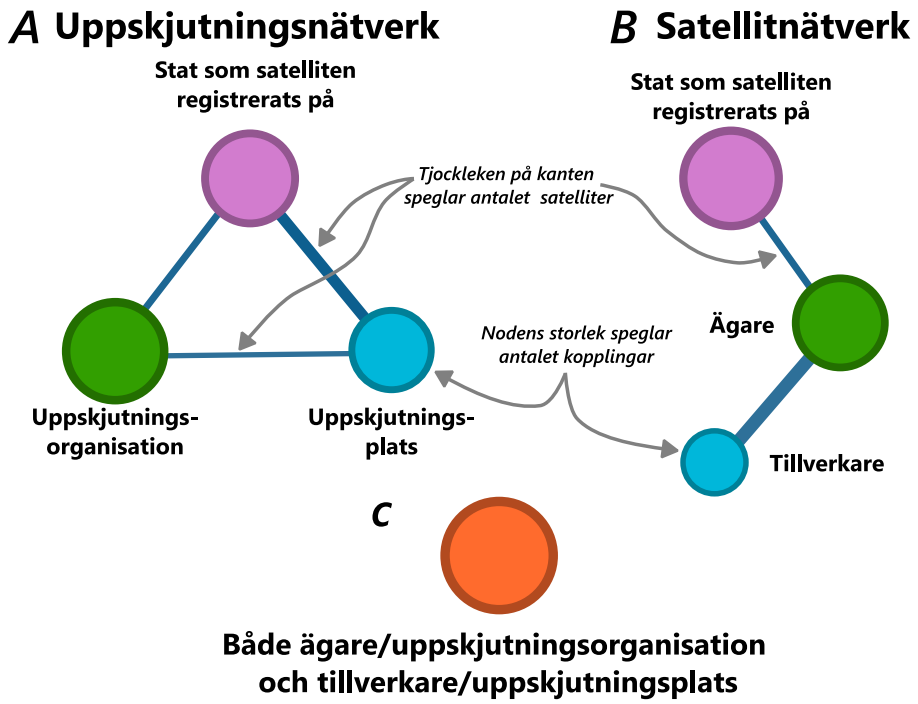
Möjligheten för en ickestatlig aktör att utgöra både plats och bärraketsoperatör, eller ägare och tillverkare, gör att en fjärde typ av nod är möjlig. Dessa fyra noder tilldelas fyra distinkta färger efter den typ i nätverket de utgör (se Figur 1). Vi bygger sedan nätverket via delgrafer som sammanfogas där ett antagande görs om grundläggande strukturella samband för nätverket, även kallat motiv [27, 28]. För uppskjutningsnätverkets motiv antas att staten kopplar i en triad till både uppskjutandeorganisation och uppskjutningsplats, vilket resulterar i en triangulär struktur. Detta antagande grundar sig på att en stat kan tänkas ha intressen av både vem som utför uppskjutningen och varifrån en satellit skjuts upp. Uppskjutningsplatsen blir även viktig geografiskt då en stat kan tänkas vilja att uppskjutning sker från eget territorium eller att platsens geografiska belägenhet har en påverkan på vilka typer av satelliter som kan sändas upp och vilka banor som kan nås.

I fallet med satellitnätverket antas ett linjärt strukturellt motiv bestående av tre huvudsakliga typer av noder:

- staten som satelliten registrerats på
- ägare eller operatör av satelliten
- tillverkare av satelliten.

Även i satellitnätverket finns möjligheten att en fjärde kombinerad nodtyp uppstår vid tillfällen då ägare och tillverkare av satellit sammanfaller. Nätverkets linjära strukturella samband antar att staten endast kopplar till ägare/operatörs-noden som i sin tur kopplar till den aktör som tillverkat satelliten (se Figur 1). Kanterna utgörs, som i uppskjutningsnätverket, av antalet satelliter som rymdsatts under den studerade tidsrymden.

[5] För att undvika förvirring används begreppet ”rymdsatt” om en satellit som skjutits upp till rymden. Detta görs i likhet med det för fartyg vedertagna begreppet ”sjösättning”.



Figur 1. Schematisk figur som visar de strukturella grundstenar (motiv) som tillämpats vid uppbyggnaden av de två typerna av nätverk (A,B). I grundutförandet finns tre nodtyper representerade av tre färger för de båda nätverken i två olika strukturella ansatser. Genom att rollerna för grön och blå nod kan sammanfalla finns möjligheten för en fjärde orange nodtyp att uppstå (C). Linjerna som utgör kopplingarna (formellt benämnda kanter) mellan noderna speglar genom sin tjocklek antalet satelliter som utgör den enskilda kanten. Nodens storlek återspeglar antalet kanter till noden, oaktat antalet satelliter som kanten representerar, även kallat nodens (oviktade) gradcentralitet.

Genom att datamängden tillgängliggörs via vår databas kan vi nyttja programmeringsspråket *Python* och biblioteken *Pandas* [29] samt *NetworkX* [30] för att skapa grafobjekt. Därtill lägger vi till ytterligare information i graferna, såsom aktörstyp, som attribut till varje nod. Genom detta arbetsflöde kan vi snabbt generera nätverk över olika tidsperioder. Tre aggregerade tidsperioder har valts ut för analys i syfte att representera rymdaktiviteter under erorna: kalla kriget 1957–1990, den eviga freden 1991–2010 och den moderna rymdåldern 2011–2024.

För dessa tre perioder presenteras även grundläggande nätverksstatistik. Detta avser bland annat vilka andelar som olika typer av aktörer utgör i graferna, men även antal noder, kanter, och nodernas genomsnittliga gradcentralitet. Även nätverkets densitet, Δ, presenteras och beräknas enligt ekvation (1) [16]:

$$\Delta = \frac{2L}{g(g-1)}, \tag{1}$$

där L avser det faktiska antalet kanter i nätverket. I nämnaren utgör g antalet noder och uttrycket $g(g-1)$ beaktar det totala antalet potentiella kanter i nätverket. Densiteten talar därför om hur stor andel av alla potentiellt möjliga kanter i nätverket som faktiskt existerar, och varierar mellan 0 och 1. Till sist redovisas även måttet diameter, som är den längsta av alla kortast möjliga vägar mellan samtliga par av noder i hela nätverket.

3.2.1 Nätverksvisualisering

Visualiseringen av nätverken har gjorts genom att importera de framtagna grafobjekten till den öppna källkodsmjukvaran *Gephi* [31]. Nodernas position i förhållande till varandra i visualiseringen har tagits fram genom att tillämpa layoutalgoritmen *Force Atlas 3D* med mindre manuella justeringar. Nodernas storlek bestäms av det antal kopplingar som finns

till noden, oaktat kanternas vikter. Kanternas tjocklek och färgintensitet återspeglar deras vikt; ju mörkare och tjockare, desto fler satelliter representerar kopplingen mellan noderna. I bägge nätverken finns möjligheten att en nod utgör både driftsägare och tillverkare eller uppskjutningsplats och uppskjutningsorganisation. När detta sker kommer endast en nod att uppstå, men med en självloop som utgör en koppling till sig själv. Denna självloop filtreras bort från visualiseringen. Färgen på noderna indikerar den typ av aktör som noden utgör (se Figur 1).

3.2.2 Identifiering av tätt sammankopplade grupper av noder

Utöver visualiseringen beskriven ovan kan man via nätverksanalys analysera hur väl noderna grupperas till en större gemenskap, även kallat kluster. Detta ändamål har länge eftersträvats inom nätverksanalys och därför finns ett antal olika algoritmer att tillgå i syfte att identifiera nodtillhörigheten i tätt sammankopplade kluster i nätverket. Dessa metoder och algoritmer går under samlingsnamnet *community detection*. Vi tillämpar en moduläritetsbaserad algoritm tillgänglig i *Gephi* för att utföra klusteridentifiering [32]. Denna optimerar moduläriteten, Q, i nätverket vilket maximerar antalet kanter inom kluster och minimerar kanterna mellan kluster. Genom att justera en av algoritmens parametrar, upplösning (eng. *resolution*), kan man styra antalet identifierade kluster. Som utgångspunkt är upplösningen satt till ett. Lägre värden än ett genererar fler och mindre grupper och större värden genererar det omvända. I detta arbete har en upplösning på 0,75 använts och algoritmen beaktar även kanternas vikt. Till varje nätverk, och tidsperiod, finns därför ytterligare en visualisering som visar utfallet av denna algoritm, där nodernas färg indikerar den grupptillhörighet noden tilldelats. För de fall där kluster finns som inte kopplar till övriga nätverket anges dessa i grått och ska inte tolkas som att de tillhör samma kluster. Generellt ska klusteranalysen tolkas med försiktighet då klustergränserna kan vara diffusa och inte anger hur tydligt respektive kluster är. En sådan analys är av intresse men bortom ramen för detta arbete.

3.3 Tidsserieanalys av grafobjekt

Metoden tillåter att vi snabbt kan generera nätverk över olika tidsperioder. De tre studerade tidsperioderna tydliggör inte den dynamiska utvecklingen som har skett inom rymddomänen. Därför skapar vi, utöver tidsperioderna beskrivna ovan, även nätverk över rymddomänens utveckling årsvis över hela tidsperioden 1957–2024. Ur dessa grafer kan vi sedan extrahera noders gradcentralitet och nätverksmått för att påvisa utvecklingen i rymden. På grund av det stora antalet aktörer, och att framförallt ickestatliga aktörer ändras över tid, har en initial ansats gjorts genom att endast studera ett urval av statliga aktörer. De tio mest frekvent förekommande staterna har först extraherats ur alla de årsvisa nätverken över tid. Övriga statliga aktörer har sedan sammanslagits till en samlingsgrupp. Rymddomänens utveckling studeras sedan genom att för de tio utvalda aktörerna studera deras oviktade gradcentralitet och andelen den utgör av summan av alla statliga aktörers gradcentralitet över tid.

Förståelse av den nätverksnärvaro som de statliga aktörerna utgör och nätverkets utveckling i stort kräver dock att även övriga aktörer beaktas. För att belysa detta visualiserar vi utvecklingen av antalet statsnoder och deras kanter tillsammans med det totala antalet noder samt antalet kanter som förekommer årsvis allteftersom nätverken utvecklas.

4 Resultat

I detta kapitel presenteras de resultat vi kommit fram till genom den metod som tillämpats. Först presenteras det vi valt att kalla för satellitnätverken, det vill säga de nätverk med vilka vi kan utvärdera relationer mellan stater, ägare och tillverkare. Efter det presenterar vi uppskjutningsnätverken med vilka vi kan studera relationerna mellan stater, uppskjutningsorganisationer och uppskjutningsplatser. För båda dessa analyser delar vi upp resultaten i tre tidsperioder och för varje tidsperiod genereras två nätverk, ett där nodernas färg representerar nodens typ av aktör och ett där nodens färg representerar det kluster, eller grupp, som noden tillhör. Fördelningen mellan de olika typer av aktörer som noderna utgör samt antal noder, kanter och måtten på nätverkets densitet, diameter och medelvärde för grad, redovisas i två separata tabeller för varje tidsperiod. Nätverkets densitet är ett mått som varierar mellan 0 och 1 som visar hur tätt nätverket är; ett värde på 1 innebär att alla noder har kanter till varandra. Nätverkets diameter är ett mått som beskriver avståndet mellan de två mest avlägsna noderna, det vill säga hur många kanter som separerar dem.

Namnen på noderna, och därmed organisationerna, är direkt tagna från *The Space Organizations Catalog*, som beskrivs i kapitel 3, i vilken de engelska översättningarna av organisationsnamnen finns tillgängliga. För att bättre stämma överens med eventuella akronymer i graferna har organisationsnamnen i texten inte översatts till svenska.

Vi vill också uppmärksamma läsaren på att staterna kan betraktas som passiva aktörer; detta grundas på att kanterna till staterna endast representerar satellitens statliga tillhörighet och inte statens inblandning i verksamheten. De andra typerna av aktörer (ägare, tillverkare, uppskjutningsplats och uppskjutningsorganisation) kan betraktas som aktiva aktörer mellan vilka kanterna innebär en interaktion av något slag. Bland de aktiva aktörerna finns flertalet statliga myndigheter eller statligt ägda företag och organisationer, men när vi i analysen refererar till stater, statsaktörer eller statliga aktörer är det staten som en passiv aktör som åsyftas.

4.1 Satellitnätverk

Två nätverk har genererats för varje tidsperiod, 1957–1990, 1991–2010 och 2011–2024, för att illustrera satellitproduktionen och ägarskapet. Datamängden innefattar de satelliter som skjutits upp under tidsperioderna, och som är registrerade med stat, tillverkare och ägare. De synliga aktörerna i nätverket, det vill säga noderna, är således satellitens registrerade stat, tillverkare och ägare, sammankopplade i en linjär grundkonfiguration (se kapitel 3 för en mer detaljerad metodbeskrivning).

4.1.1 Kalla kriget

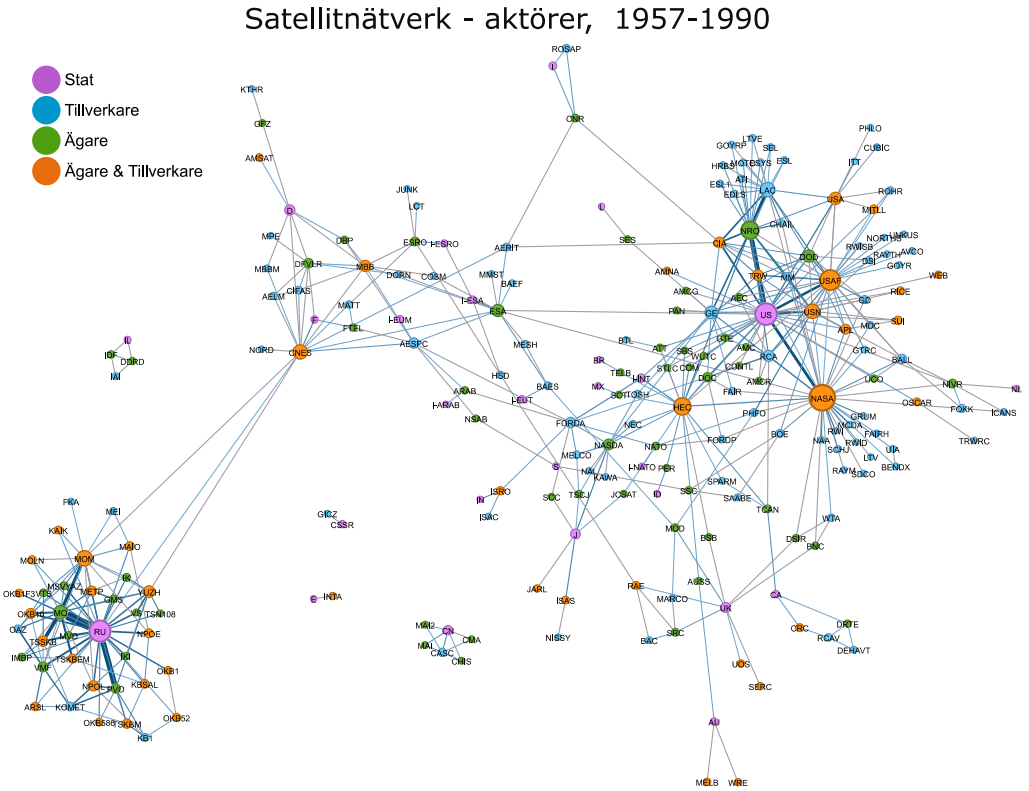
Satellitnätverket för kalla kriget, 1957–1990, återfinns i Figur 2. Det syns tydligt att de två största rymdmakterna under tidsperioden, USA och Ryssland (dåvarande Sovjetunionen), utgör de två polerna i nätverket. Noderna runt USA kan ses indelade i en försvarsriktning, med tydliga kanter till de amerikanska försvars- och underrättelseorganisationerna *National Reconnaissance Organisation* (NRO), *United States Air Force* (USAF), *United States Navy* (USN), *Department of Defense* (DOD) och *Central Intelligence Agency* (CIA), samt en civil riktning med NASA i spetsen. Det syns också vilka som var USA:s försvarsindustris framträdande aktörer för satelliter där NRO knyter ett tiotal tillverkare till sig. I Figur 3 finns samma nätverk med noderna färglagda efter grupptillhörighet. Den försvarsinriktade delen runt USA blir tydligt indelad i två kluster (rosa och turkos) kring USAF och DOD respektive NRO och *Lockheed Aircraft Corporation* (LAC) och den civila delen syns i ett kluster (orange) kring NASA.

Ryssland (dåvarande Sovjetunionen) kan ses som en egen del av nätverket med franska *Centre National d'Études Spatiales* (CNES) som enda brygga in i det stora nätverket. Dåvarande sovjetiska *Ministry of general Machine Building* (MOM), sovjetiska *Ministry of*

Defense (MO) och sovjetiska *Southern State Design Bureau* (YUZH) är tre centrala aktörer. Det ryska klustret i lila är tydligt avgränsat i Figur 3 medan det ljusgröna europeiska klustret har flera kopplingar till USA-klustret.

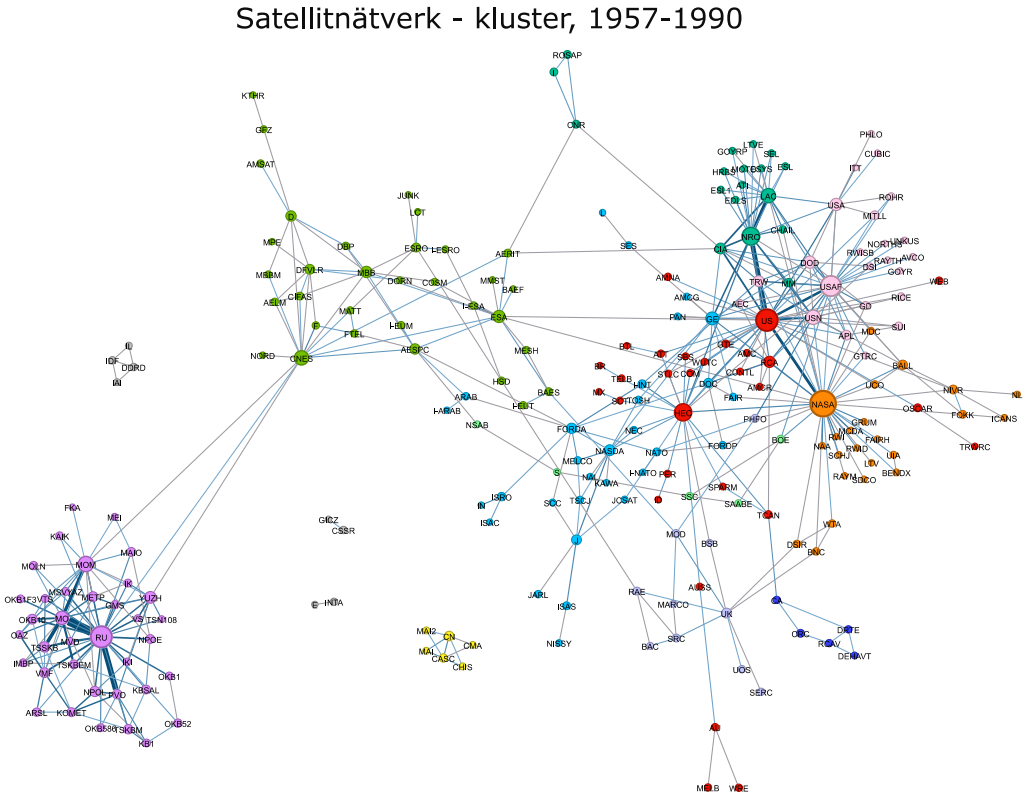
Skillnaderna i strukturer mellan amerikanskt och ryskt kluster är tydliga där Rysslands aktörer är mer knutna till varandra medan den amerikanska delen av nätverket uppvisar en segmentering där en radiell struktur[6] återfinns kring enskilt centrala aktörer, framför allt kring NASA och USAF.

Kina återfinns utanför det stora nätverket i ett eget fristående kluster med fyra andra statliga aktörer: *Ministry of Astronautics Industry* (MAI), *Ministry of Aerospace Industry* (MAI2), *China Meteorological Administration* (CMA) och *China Satellite Communications Corp.* (CHIS).



Figur 2. Satellitnätverket under kalla kriget, 1957–1990.

[6] En radiell struktur avser om det från en och samma aktör utgår flera kopplingar till noder som i sin tur inte har vidare kopplingar till andra noder. Resultatet i nätverksvisualiseringen gör att dessa strålar ut radiellt från en enskilt lokalt central nod.



Figur 3. Satellitnätverket under kalla kriget, 1957–1990. De olika färgerna på noderna representerar olika kluster i nätverket som resultat av algoritmen för detektion av grupptillhörighet tillgänglig i mjukvaran *Gephi*.

I Tabell 1 visas ett antal mått på nätverkets storlek och struktur, och i Tabell 2 redovisas fördelningen mellan de olika typer av aktörer som finns i nätverket. Störst andel står aktörstypen tillverkare för med 40,7 %.

Tabell 1. Olika deskriptiva statistiska mått på satellitnätverket för tidsperioden 1957–1990.

Mått	Värde
Antal noder	226
Antal kanter	504
Densitet	0,02
Diameter	10
Medelgrad	4,46

Tabell 2. Fördelning av olika typer av aktörer i satellitnätverket för tidsperioden 1957–1990.

Aktör	Procent av alla noder
Stat	12,0 %
Tillverkare	40,7 %
Ägare	27,4 %
Ägare och tillverkare	19,9 %

4.1.2 Eviga freden

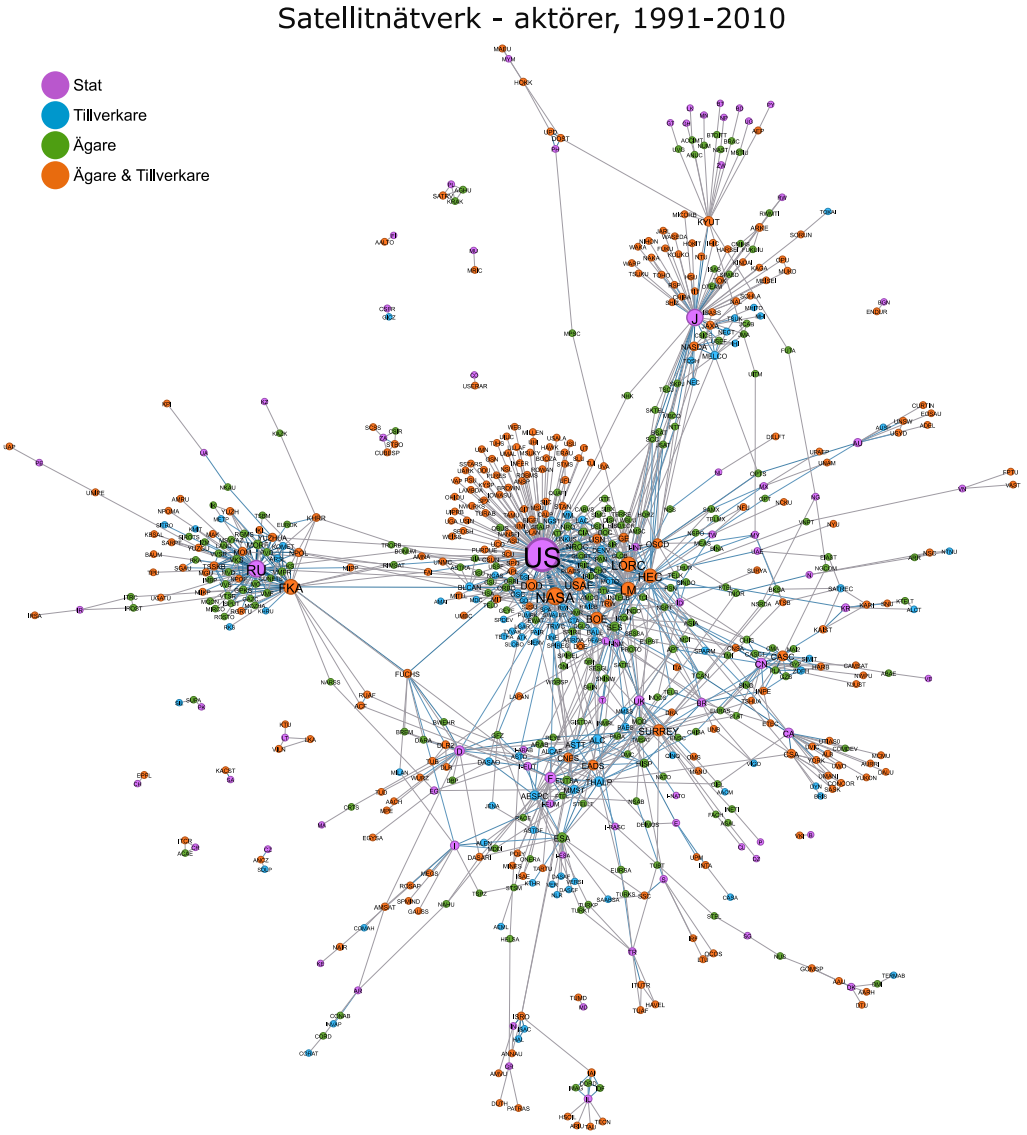
I satellitnätverket för perioden 1991–2010, se Figur 4 och Figur 5, har polariteten kring USA och Ryssland tydligt ändrats jämfört med föregående tidsperiod. I Figur 5 visas nätverkets kluster genom nodernas färger och vi ser hur det ryska klustret (grönt) nu har fler knutpunkter med resterande nätverk än tidigare och ser nästan ut att kollapsa in mot den amerikanska delen av nätverket. Roskosmos (FKA) är en central aktör som har kopplingar genom flera amerikanska, tyska och franska satelliter.

Den amerikanska polen av nätverket är indelad i tre större kluster, ett lila, ett turkost och ett orange. Det lila utgörs nästan uteslutande av mindre aktörer som är både ägare och tillverkare, det turkosa utgörs nästan till lika delar av aktörer som är antingen ägare eller tillverkare och det orangea domineras av stora aktörer som är både ägare och tillverkare, såsom LM, *Boeing Company* (BOE) och HEC.

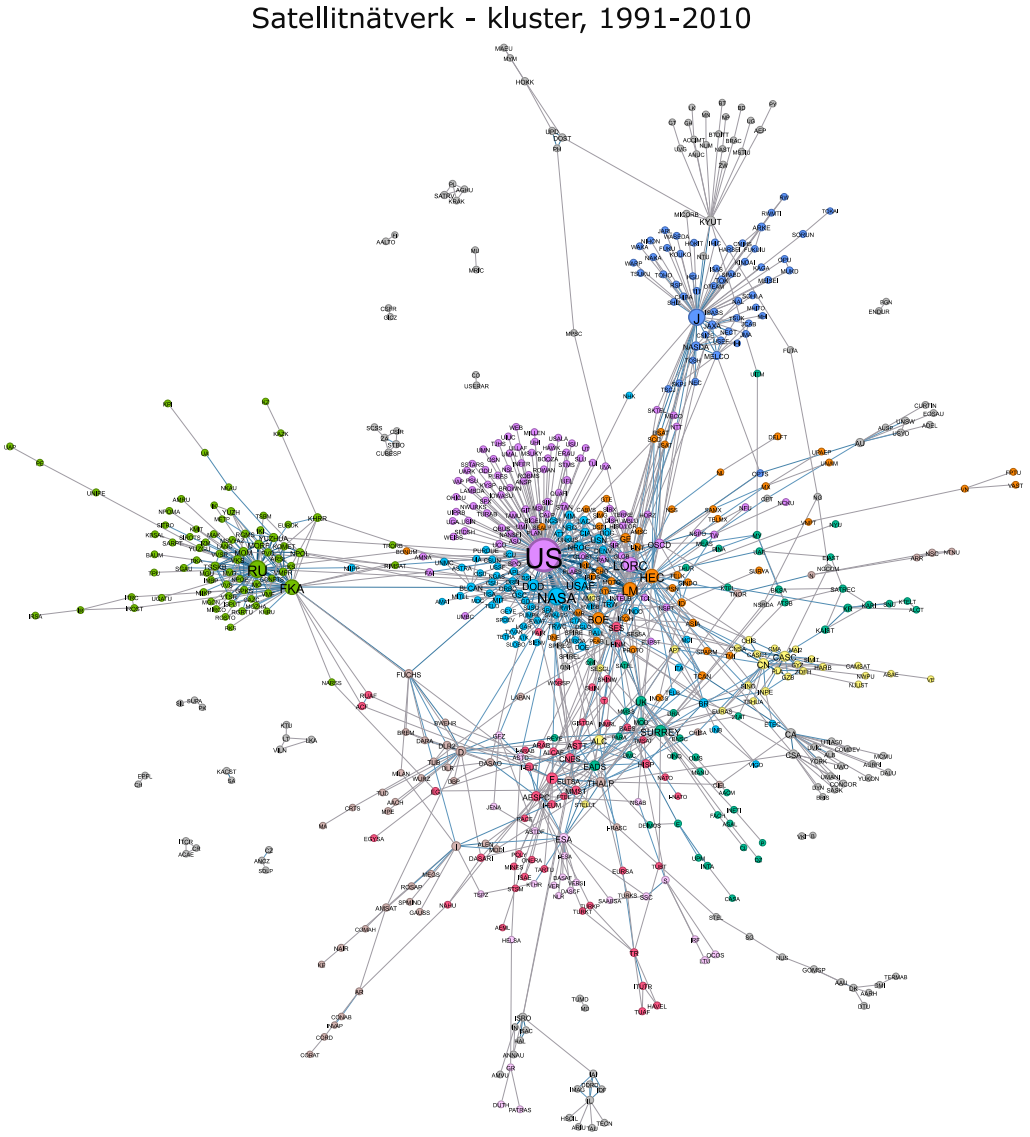
Andra markanta skillnader i nätverket för den eviga freden är att Kina fått kopplingar till det övriga nätverket; detta syns tydligast i Figur 5. Kinas kluster (gult) har kopplingar till bland annat *Lockheed Martin* (LM) och *Hughes Electronics Corp.* (HEC) i det amerikanska klustret (orange) som har tillverkat satelliter tillhörande kinesiska organisationer. I det kinesiska klustret finns också en tydlig triad med Kina, det kinesiska försvaret genom Folkets befrielsearmé (PLA) och det kinesiskt statligt ägda konglomeratet *China Aerospace Science and Technology Corporation* (CASC).

Klustret kring Japan (ljusblått) har vuxit markant och Kyushus tekniska institut (KYUT) har knutit flera stater till sig genom andra universitet och i klusterdetektionen bildar de två olika kluster. Det som bryggar Japan till USA är att flera japanska satelliter är byggda av bland annat *Loral Corporation* (LORC) och *Orbital Science Corporation* (OSCD).

I Figur 4 visas nätverket för tidsperioden där nodernas färger representerar de olika aktörstyperna. De radiella strukturerna runt statsaktörer (lila) och aktörer som är både ägare och tillverkare (orange), såsom runt USA, Japan och Kanada, är mer framträdande i detta nätverk än i det från kalla kriget.



Figur 4. Satellitnätverket under den eviga freden, 1991–2010.



Figur 5. Satellitnätverket under den eviga freden, 1991–2010. De olika färgerna på noderna representerar olika kluster i nätverket. De mindre fristående gruppernas kluster representeras i grått.

I Tabell 3 ser vi att antalet noder har ökat sedan kalla kriget och att nätverkets diameter har ökat från 10 till 14 samtidigt som dess densitet har gått ner från 0,02 till 0,007. I Tabell 4 ses att andelen statsaktörer i nätverket har ökat under den eviga freden jämfört med under det kalla kriget. Den största förändringen jämfört med tidigare period är dock att aktörstypen tillverkare har minskat och att aktörer som är både ägare och tillverkare nu utgör den största andelen med 39,9 %.

Tabell 3. Olika deskriptiva statistiska mått på satellitnätverket för tidsperioden 1991–2010.

Mått	Värde
Antal noder	651
Antal kanter	1483
Densitet	0,007
Diameter	14
Medelgrad	4,56

Tabell 4. Fördelning av olika typer av aktörer i satellitnätverket för tidsperioden 1991–2010.

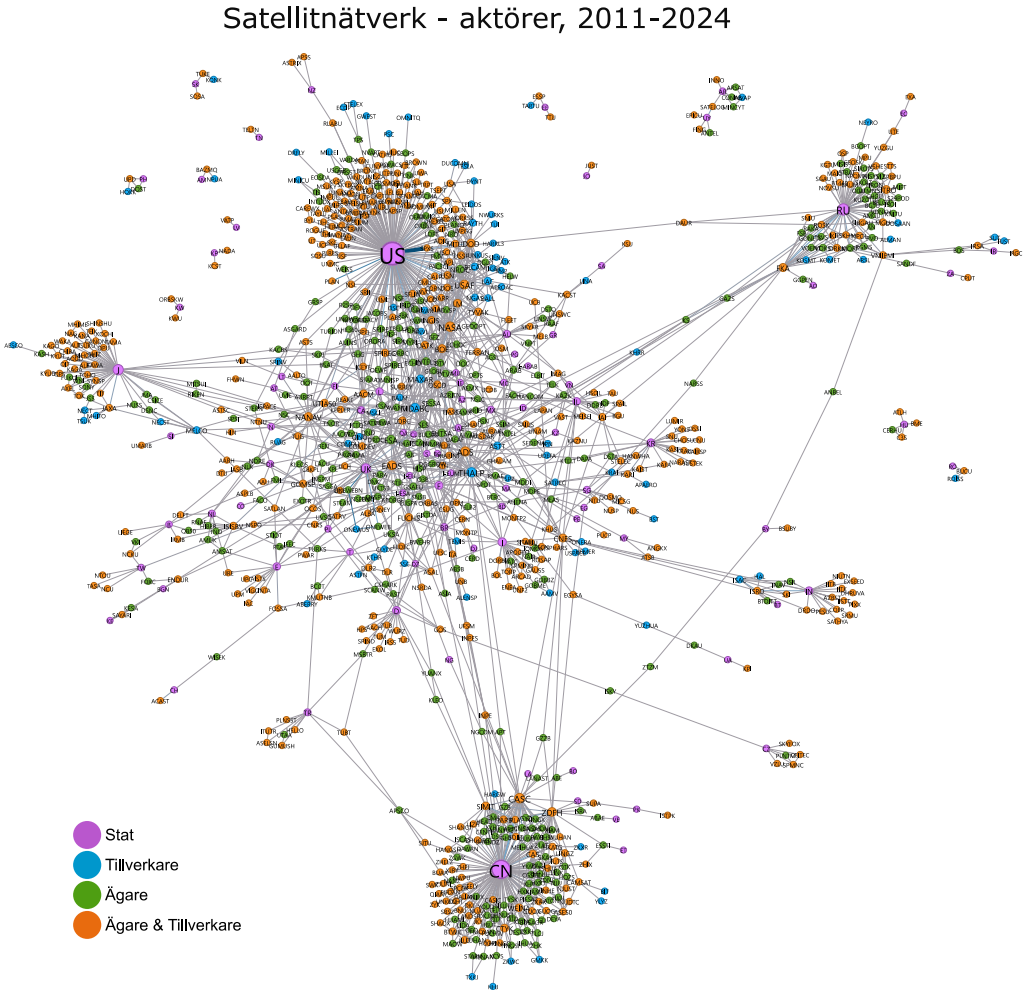
Aktör	Procent av alla noder
Stat	12,1 %
Tillverkare	14,3 %
Ägare	33,6 %
Ägare och tillverkare	39,9 %

4.1.3 Moderna rymdåldern

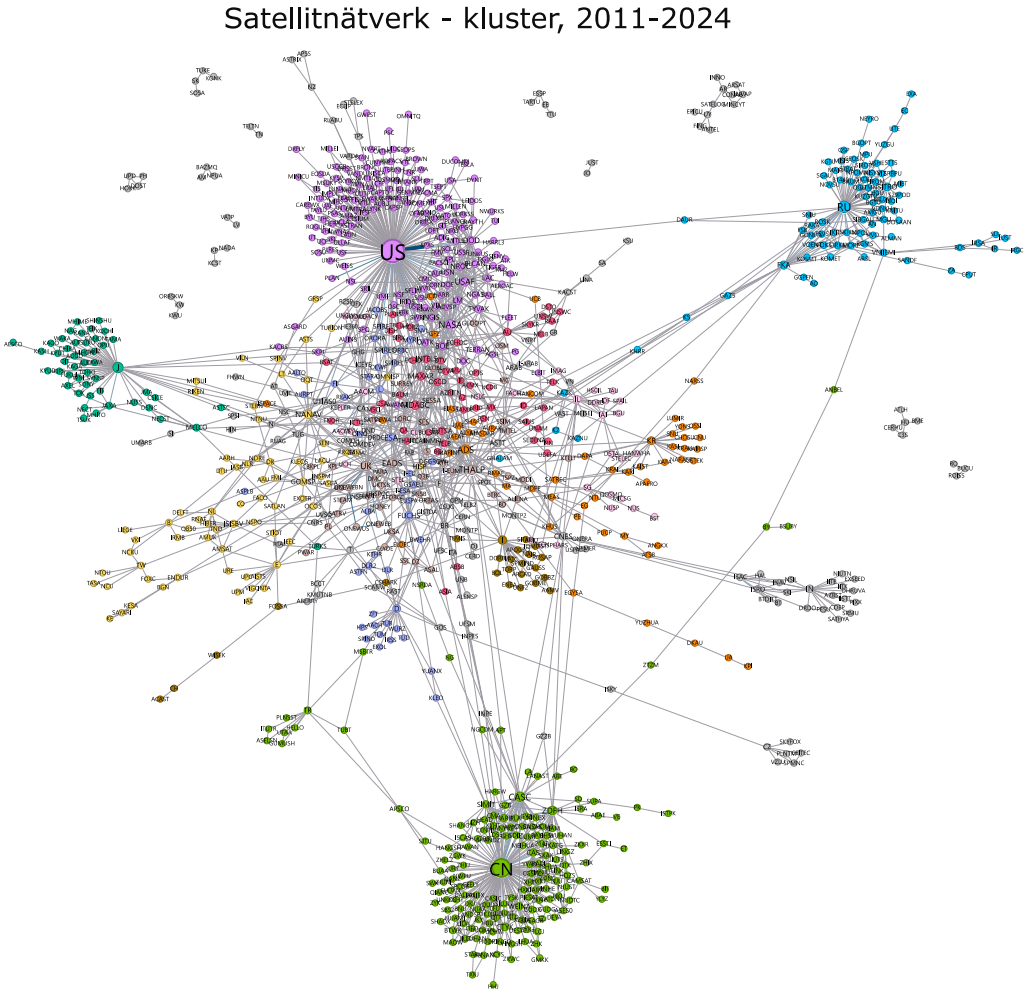
Satellitnätverket för tidsperioden 2011–2024 uppvisar flera tydliga poler i nätverket, se Figur 6. USA, Japan, Kina och Ryssland bildar de tre största polerna, men Indien och Sydkorea ser ut att vara på frammarsch. Trots dessa tydliga poler är nätverket mycket sammankopplat och USA har tillsynes knutit stora delar av nätverket till sig, inte minst det europeiska gittret beläget i mitten av nätverket. Figur 7 visar nätverket indelat i de olika detekterande grupptillhörigheterna. Kinas kluster (grönt) växer dramatiskt mellan den eviga freden och den moderna rymdåldern och bildar en egen halvö med några få kopplingar till resterande nätverk. Likaså utgör Japan fortsatt ett eget kluster (turkost), om än något mindre än tidigare på grund av att KYUT bortfallit.

Jämfört med tidigare så verkar Ryssland behålla en stor del av sina aktörer i sin del av nätverket, men med tanke på hur mycket resterande nätverk växer så minskar det ryska klustret (turkost) jämfört med tidigare tidsperioder.

Det kan noteras att flera statsnoder (lila) får radiella strukturer kring sig, till exempel Tjeckien, Tyskland, Italien, Egypten och Turkiet. Flera av dessa statsaktörers radiella strukturer består nästan uteslutande av aktörer som utgör både ägare och tillverkare, vilket kan tänkas representera den utveckling som skett gentemot kommersiella aktörer.



Figur 6. Satellitnätverket under den moderna rymdåldern, 2011–2024.



Figur 7. Satellitnätverket under den moderna rymdåldern, 2011–2024. De olika färgerna på noderna representerar olika detekterade kluster i nätverket. De mindre fristående gruppernas kluster representeras i grått.

Vi ser ytterligare tillväxt i nätverket avseende både noder och antalet kanter, se Tabell 5, men nätverkets densitet minskar något jämfört med föregående tidsperiod. Aktörstypen ägare och tillverkare är den aktör som står för majoriteten av noderna, se Tabell 6.

Tabell 5. Olika deskriptiva statistiska mått på satellitnätverket för tidsperioden 2011–2024.

Mått	Värde
Antal noder	955
Antal kanter	2253
Densitet	0,005
Diameter	12
Medelgrad	4,72

Tabell 6. Fördelning av olika typer av aktörer i satellitnätverket för tidsperioden 2011–2024.

Aktör	Procent av alla noder
Stat	9,3 %
Tillverkare	9,5 %
Ägare	35,0 %
Ägare och tillverkare	46,2 %

4.2 Uppskjutningsnätverk

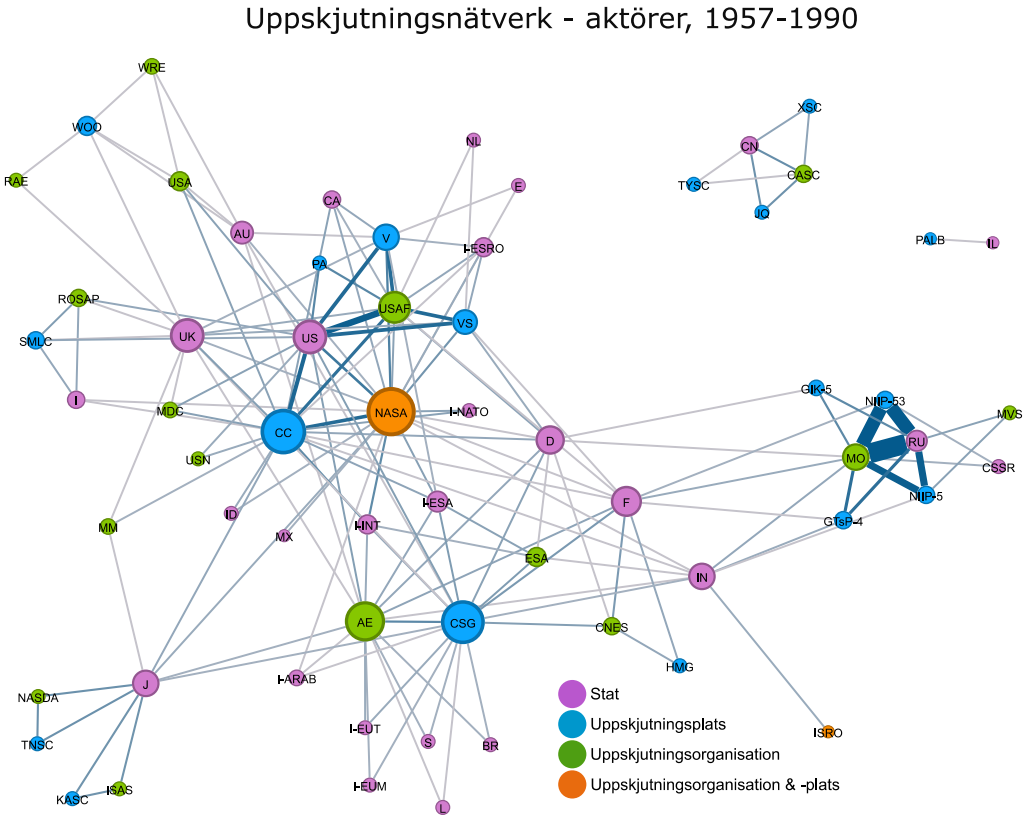
Två nätverk har genererats för varje tidsperiod för att illustrera uppskjutningsverksamheten under samma tidsperioder som ovan: 1957–1990, 1991–2010 och 2011–2024. Datamängden innefattar de satelliter som skjutits upp under tidsperioderna och som är registrerade med stat, uppskjutningsorganisation och uppskjutningsplats. De synliga aktörerna i nätverket är också satellitens registrerade stat, uppskjutningsorganisation och uppskjutningsplats, sammankopplade i en triangulär grundkonfiguration (se kapitel 3 för en mer detaljerad metodbeskrivning).

4.2.1 Kalla kriget

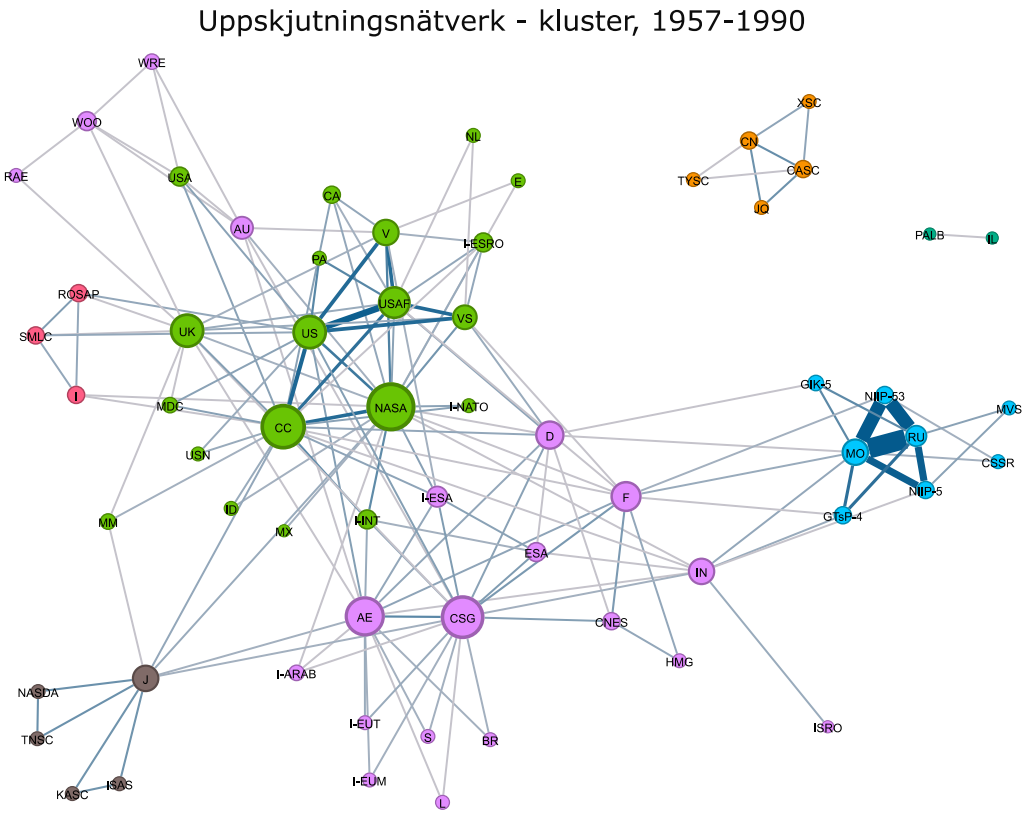
I Figur 8 återfinns uppskjutningsnätverket för kalla kriget, 1957–1990. Nätverket är grupperat kring fyra poler, vilka utgår från USA, i synnerhet NASA och *Cape Canaveral*, (CC), Japan, Ryssland samt Europa med franska *Arianespace* (AE) och den franska uppskjutningsplatsen på Kourou (CSG) i spetsen. Helt frikopplade från det större nätverket finns två mindre kluster, ett med Kina som enda statliga aktör och ett med Israel. Till Ryssland finns tydligt bredare och mörkare kanter kopplade som sammanfogar uppskjutning av ryska (sovjetiska) satelliter från Plesetsk (NIIP-53) och Baykonur (NIIP-5) med hjälp av en dåvarande organisation inom Sovjets försvarsmakt benämnd *Min. Oboroni* (MO). Även franska, tyska och indiska satelliter har under denna tidsperiod skjutits upp med hjälp av MO på dåvarande sovjetiska uppskjutningsplatser.

I Figur 9 finns samma uppskjutningsnätverk från kalla kriget, men med noderna färgsatta efter vilket kluster de tillhör. Det framgår tydligt att polerna som diskuterats ovan svarar mot de detekterade grupptillhörigheterna, USA med Storbritannien[7] i det gröna klustret, Japan i det grå, Sovjetunionen i det blå, och Europa i det lila. Till det lila klustret hör även bland annat Australien genom sina kopplingar till AE och CSG. Ytterligare ett kluster i det stora nätverket ger sig tillkänna, i rött, där Italien är ensam statsaktör.

[7] Detta kluster innehåller förutom USA och Storbritannien även Australien och Kanada som alla ingår i underrättelsesamarbetet *Five Eyes*. Den femte medlemsstaten i *Five Eyes* är Nya Zeeland som under denna tidsperiod inte genomförde någon uppskjutning av satelliter.



Figur 8. Uppskjutningsnätverket under kalla kriget, 1957–1990.



Figur 9. Uppskjutningsnätverket under kalla kriget, 1957–1990. De olika färgerna på noderna representerar olika kluster i nätverket.

Uppskjutningsnätverket under kalla kriget består av 63 noder och 165 kanter, se Tabell 7. Av dessa är den största typen av aktör i nätverket statsaktörer, se Tabell 8. Nätverkets diameter är 5 och densiteten är 0,084. Att densiteten är högre än för satellitnätverken kan bero på att grundstrukturen här är triangulär vilket ger möjlighet till fler kanter per nod.

Tabell 7. Olika deskriptiva statistiska mått på uppskjutningsnätverket för tidsperioden 1957–1990.

Mått	Värde
Antal noder	63
Antal kanter	165
Densitet	0,084
Diameter	5
Medelgrad	5,24

Tabell 8. Fördelning av olika typer av aktörer i uppskjutningsnätverket för tidsperioden 1957–1990.

Aktör	Procent av alla noder
Statsaktörer	42,9 %
Uppskjutningsplats	28,6 %
Uppskjutningsorganisation	25,4 %
Uppskjutningsorganisation och -plats	3,2 %

Notera att vi i det ryska klustret har de två uppskjutningsplatserna NIIP-5 och GIK-5 som båda refererar till Baykonur. Att denna dubblett finns beror på att GIK-5 finns med som rysk uppskjutningsplats från 1989 och NIIP-5 som sovjetisk uppskjutningsplats fram till 1989.

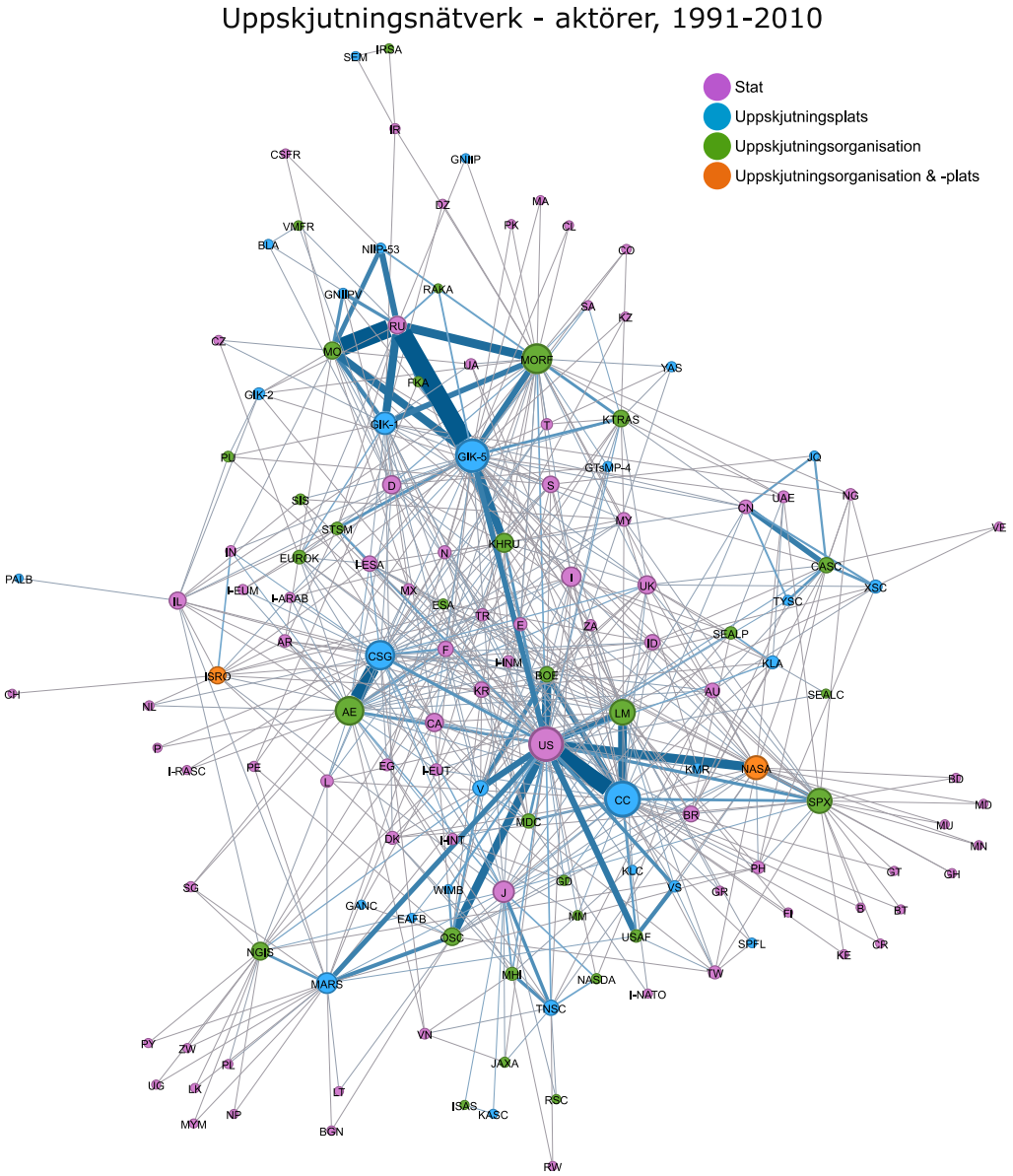
4.2.2 Eviga freden

Uppskjutningsnätverket för den eviga freden, 1991–2010 återfinns i Figur 10. Jämfört med nätverket under kalla kriget har antalet aktörer ökat inom alla kategorier (stater, ägare och tillverkare), se Tabell 9. Det finns inte heller några fristående små nätverk utan alla aktörer ingår i det stora nätverket och även Ryssland har blivit mer integrerat i nätverket.

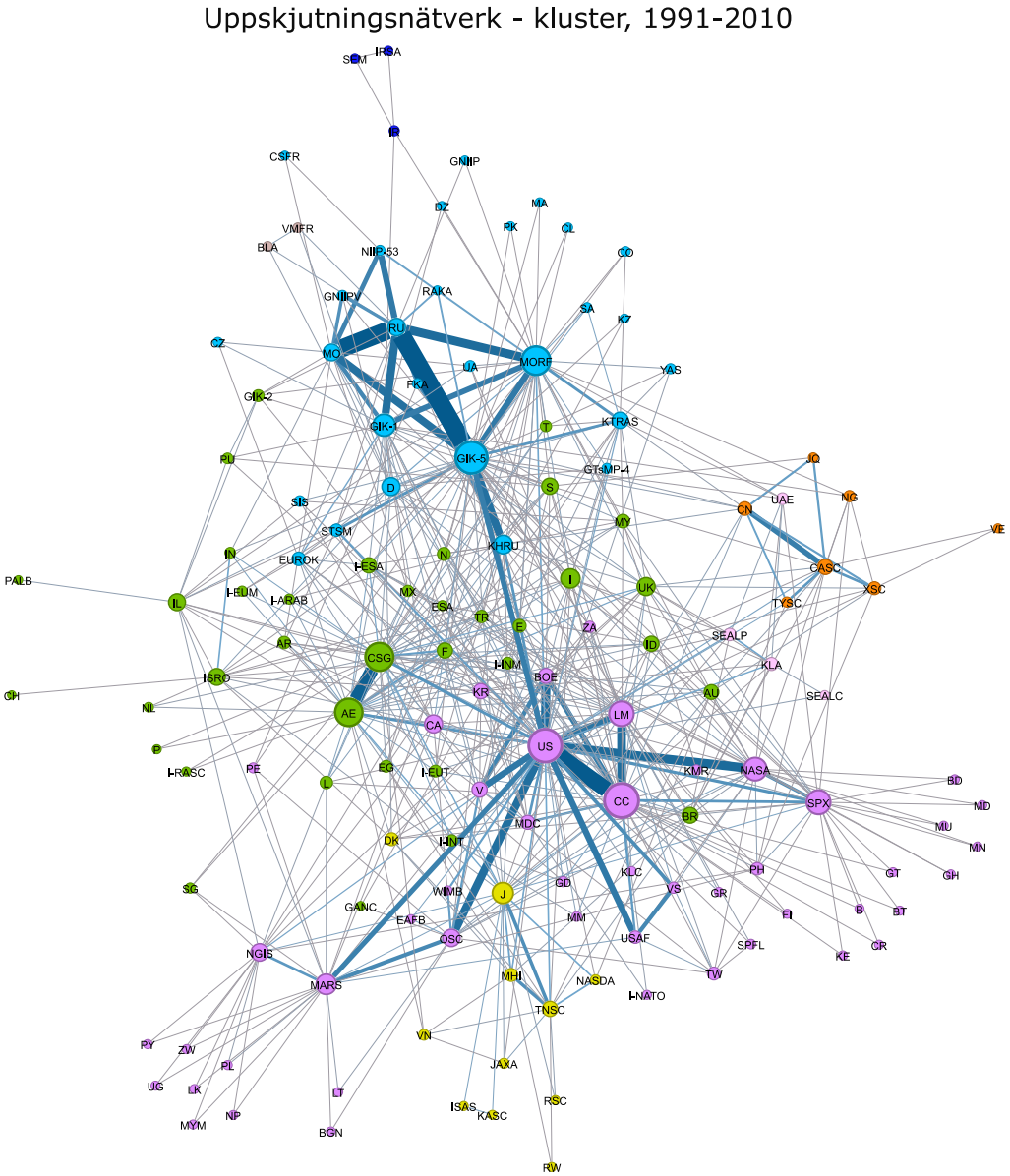
I Figur 11 kan vi se att det finns tre dominerande kluster: det blåa klustret kring Ryssland med uppskjutningsplatsen Baykonur (GIK-5) och *Min. Oboroni* inom det ryska försvaret (MORF) som centrala aktörer, det lila klustret runt USA som är starkt kopplat till CC och LM, det gröna med AE och CSG som framstående aktörer och med många andra aktörer från stora delar av Europa knutna till sig (bland annat Sverige, Frankrike och Storbritannien). Klustret kring Kina (orange), som under kalla kriget var helt fristående, har nu knutit an till det ryska klustret via GIK-5, den ryska uppskjutningsplatsen i Plesetsk (GIK-1), MORF och det ryska statliga forsknings- och produktionscentret i Khrunichev (KHRU) samt till det amerikanska via LM och CC. Det är dock inte bara kinesiska satelliter som skjuts upp utomlands, utan även utländska satelliter skjuts upp i Kina, däribland svenska, amerikanska och australienska. Kina bildar fortfarande ett eget kluster med de inhemska aktörerna samt med en havsbaserad uppskjutningsplats nära Kiritimati (KLA), med en kortlivad uppskjutningsorganisation registrerad på Caymanöarna (SEALC) och dess efterträdare SEALP (som nu är registrerad som en amerikansk uppskjutningsorganisation). SELAC och SELAP var en del av det ryskamerikanska *Sea Launch Limited Partnership* mellan 1997–2000 och 2000–2010.

Det är värt att notera att *SpaceX* närvaro i nätverket utgör en anomali då dessa satelliter associerats till den internationella rymdstationen (ISS) varifrån de släppts. Dessa satelliter har därför bakdaterats till uppskjutningsdatumet för ISS. Detta utgör en förbättringspotential i förbearbetningen av datamängden.

Även i det ryska klustret återfinns två uppskjutningsplatser, NIIP-53 och GIK-1, som båda refererar till Plesetsk. Att denna dubblett finns beror på att GIK-1 finns med som rysk uppskjutningsplats från 1994 och NIIP-53 som sovjetisk uppskjutningsplats till och med 1993.



Figur 10. Uppskjutningsnätverket under den eviga freden, 1991–2010. De lila noderna representerar stater, de blå är uppskjutningsplatser, de gröna är uppskjutningsorganisationer och de orangea är både uppskjutningsorganisationer och uppskjutningsplatser.



Figur 11. Uppskjutningsnätverket under den eviga freden, 1991–2010. De olika färgerna på noderna representerar olika kluster i nätverket.

Under den eviga freden växer nätverket till 140 noder och 594 kanter, se Tabell 9. I Tabell 10 ser vi att det återigen är statsaktörerna som utgör majoriteten av noderna, 56,43 %, och att aktörer som är både uppskjutningsorganisationer och -platser minskar till 1,43 %.

Tabell 9. Olika deskriptiva statistiska mått på uppskjutningsnätverket för tidsperioden 1991–2010.

Mått	Värde
Antal noder	140
Antal kanter	594
Densitet	0,061
Diameter	5
Medelgrad	8,49

Tabell 10. Fördelning av olika typer av aktörer i uppskjutningsnätverket för tidsperioden 1991–2010.

Aktör	Procent av alla noder
Stat	56,4 %
Uppskjutningsplats	20,0 %
Uppskjutningsorganisation	22,1 %
Uppskjutningsorganisation och -plats	1,43 %

4.2.3 Moderna rymdåldern

I Figur 12 finns uppskjutningsnätverket under tidsperioden för den moderna rymdåldern, 2011–2024, och i Figur 13 finns samma nätverk men med kluster utmärkta.

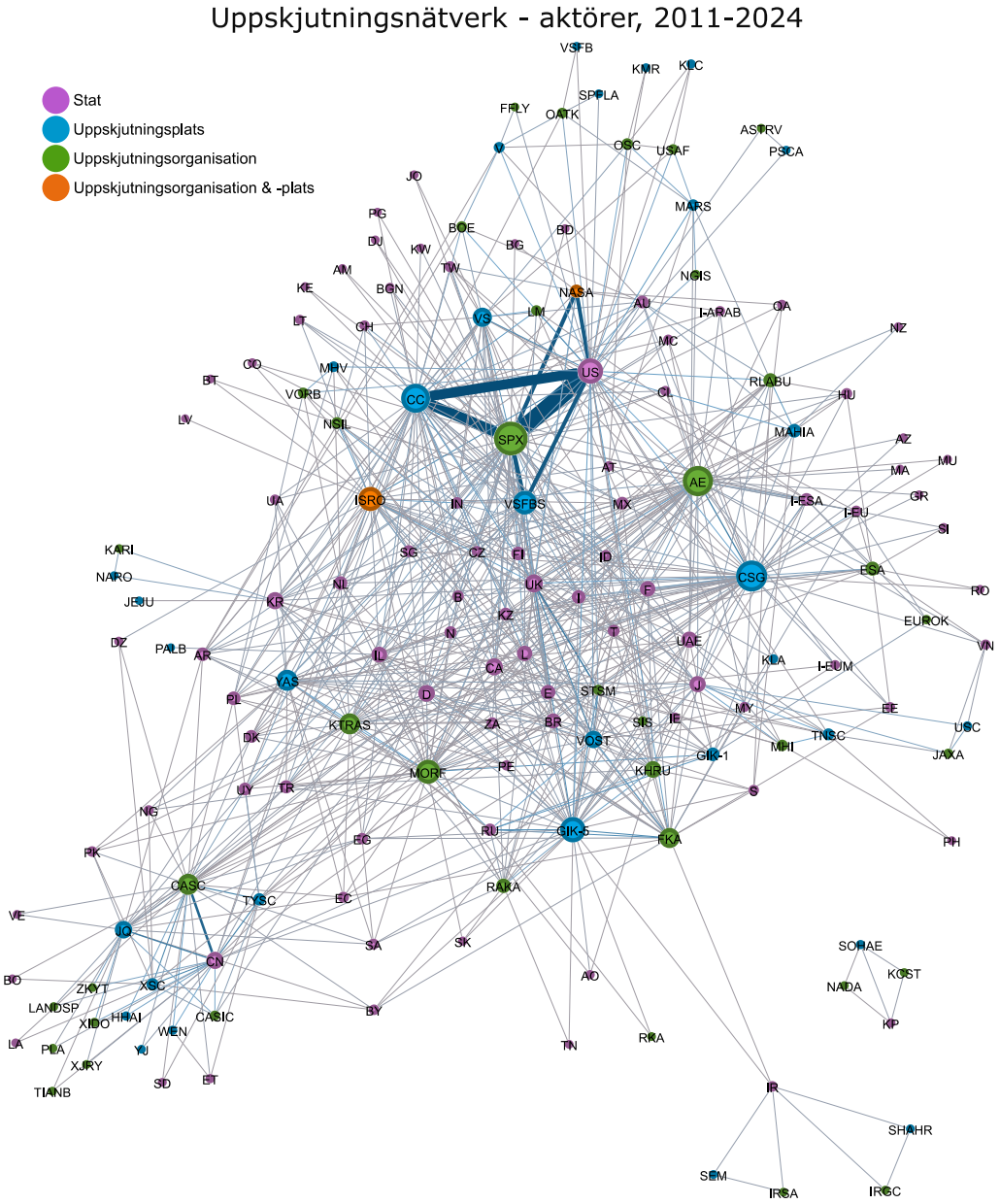
Från att ha varit två större grupperingar, en kring USA och en kring Ryssland, under den eviga freden har nu USA, *SpaceX* (SPX) och CC, vuxit fram och dominerar uppskjutningsnätverket. Andra stora aktörer är AE och CSG som återfinns i det europeiska klustret (gröna). I det kinesiska (blåa) klustret återfinns CASC, de kinesiska uppskjutningsplatserna i Taiyuan (TYSC) och i Jiuquan (JQ). I det ryska klustret (lila) återfinns de ryska uppskjutningsplatserna Yasiny (YAS), Vostotjnyj (VOST), GIK-5, samt organisationerna MKK, Kosmotras[8] (KTRAS), MORF, och FKA.

De noder som tidigare legat i det ryska klustret är nu mer kopplade till det stora nätverket, även om klustret till stora delar fortfarande innehåller samma aktörer. Det kinesiska klustret har ökat avseende antal noder, antal interna kopplingar och också avseende antal kopplingar till resterande nätverk, främst via CASC och TYSC och JQ.

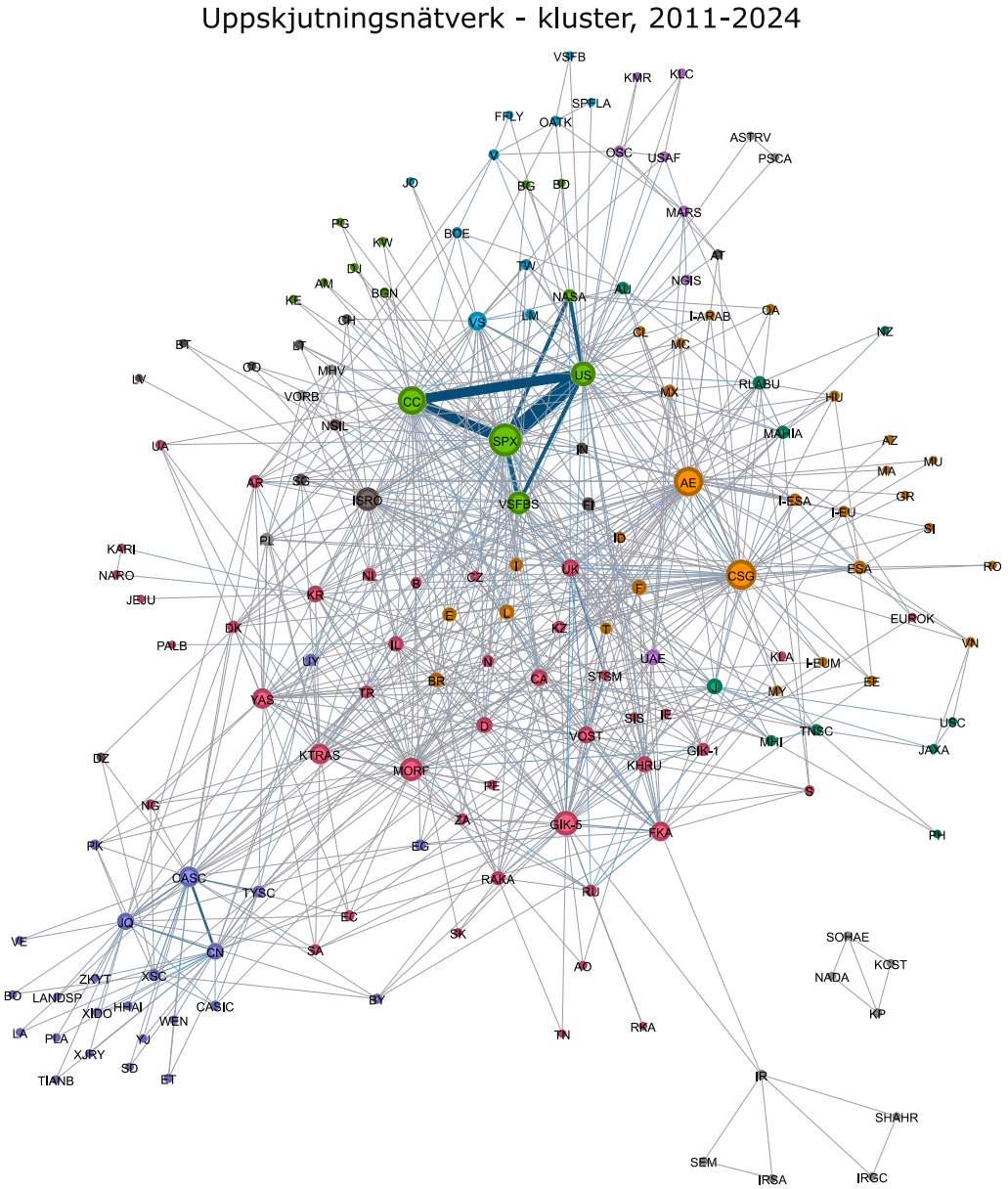
Iran får i detta nätverk ett eget kluster och jämfört med tidigare har ytterligare en uppskjutningsplats och en organisation kopplats till landet. Iranska satelliter skjuts fortsatt upp från GIK-5 med FKA.

Det enda fristående klustret är det kring Nordkorea som nu dykt upp i nätverket med två organisationer och en uppskjutningsplats.

[8] Kosmotras utgör ett gemensamt företag grundat 1997 mellan Ryssland, Ukraina (som lämnade samarbetet 2015) och Kazakstan med syfte att bedriva kommersiell uppskjutning med hjälp av bärraketen Dnepr.



Figur 12. Uppskjutningsnätverket under tiden för den moderna rymdåldern, 2011–2024.



Figur 13. Uppskjutningsnätverket under den moderna rymdåldern, 2011–2024. De olika färgerna på noderna representerar olika kluster i nätverket.

I Tabell 11 ser vi hur uppskjutningsnätverkets densitet fortsätter att sjunka; för den moderna rymdåldern har den gått ner till 0,059. Nätverkets noder och kanter ökar ytterligare i antal, men diametern är genom alla tre tidsperioder konstant 5, vilket säger oss att det är ett ganska kompakt nätverk. Fördelningen av de olika aktörerna i uppskjutningsnätverket 2011–2024 återfinns i Tabell 12 och uppvisar en fördelning som inte skiljer sig mycket från tidigare tidsperioder.

Tabell 11. Olika deskriptiva statistiska mått på uppskjutningsnätverket för tidsperioden 2011–2024.

Mått	Värde
Antal noder	161
Antal kanter	766
Densitet	0,059
Diameter	5
Medelgrad	9,516

Tabell 12. Fördelning av olika typer av aktörer i uppskjutningsnätverket för tidsperioden 2011–2024.

Aktör	Procent av alla noder
Stat	55,3 %
Uppskjutningsplats	19,9 %
Uppskjutningsorganisation	23,6 %
Uppskjutningsorganisation och -plats	1,2 %

4.3 Tidsserieanalys av satellitnätverkets utveckling

För en tidsserieanalys har endast satellitnätverken nyttjats. För detta syfte har centralitetsmåttet grad beräknats för alla noder varje år mellan 1957 och 2024. En nods gradcentralitet är lika med antalet kanter den har och beräknas enligt beskrivningen i kapitel 3. Då våra nätverk är multimodala, det vill säga att de innehåller olika typer av noder, har vi här valt att titta på statsaktörernas grad. För att välja de mest framträdande noderna extraheras de tio största staterna för varje år, med avseende på grad. En sammanställning av dessa görs sedan för att se vilka stater som frekvent förekommer i hela tidsserien. Dessa stater anses vara de största rymdaktörerna och återfinns i Tabell 13 nedan. Notera att mellanstatliga organisationer har exkluderats ur urvalet.

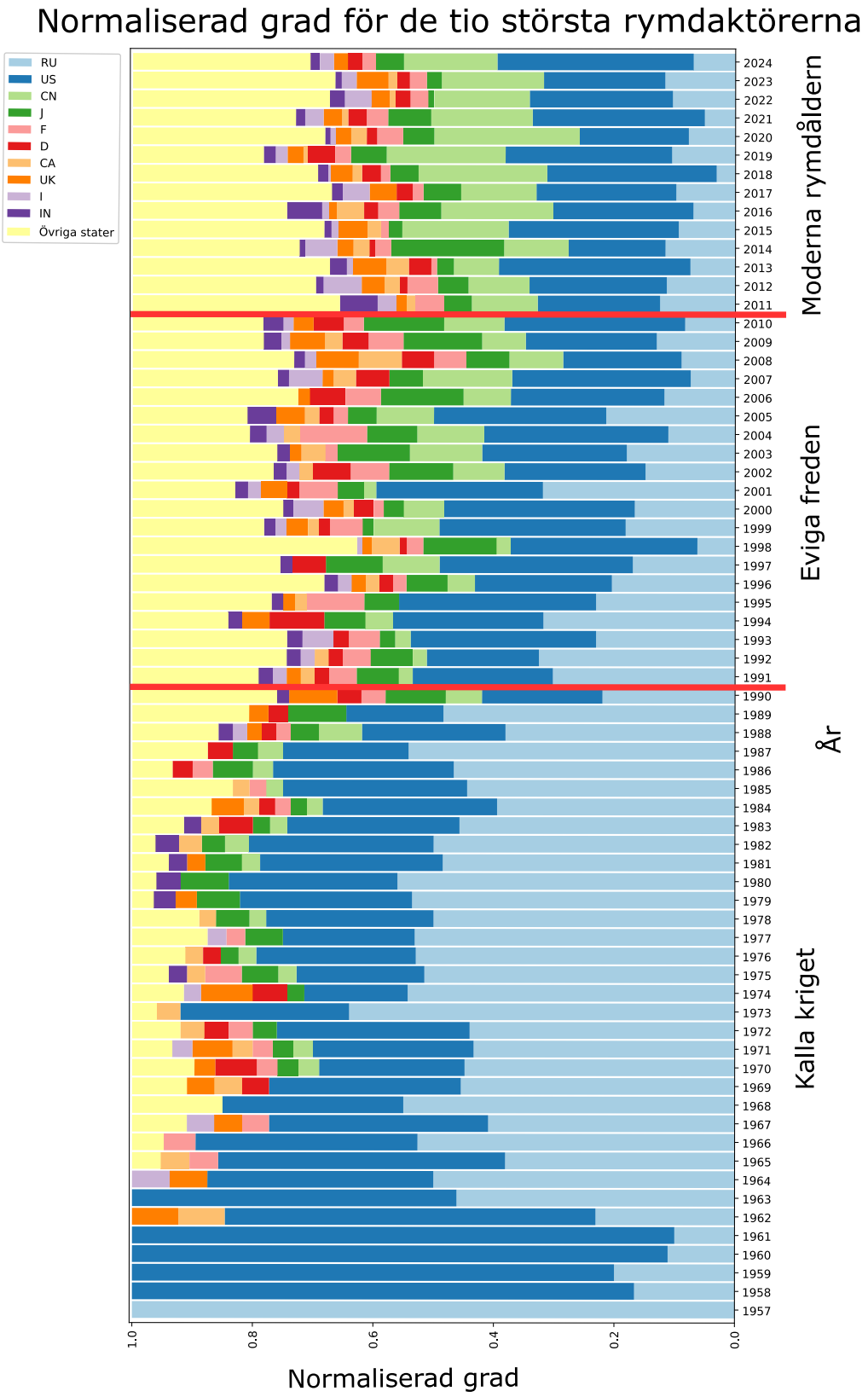
Notera att en liknande analys kan göras för varje typ av aktör för att avgöra dess närvaro i nätverket. Inom ramen för detta arbete har detta endast gjorts för stater.

Tabell 13. Lista över de stater som mest frekvent förekommer med hög gradcentralitet sedan 1957.

Stat	Antal förekomster i topp tio
Ryssland, RU	67
USA, US	66
Japan, J	48
Kina, CN	46
Frankrike, F	37
Tyskland, D	35
Kanada, CA	33
Storbritannien, UK	29
Italien, I	20
Indien, IN	14

Den normaliserade graden för de tio största rymdaktörerna (och alla övriga aktörer samlade i en separat kategori) över hela tidsserien från 1957 till 2024 återfinns i Figur 14 som ett stapeldiagram där markeringarna i rött visar brytpunkterna mellan de tre tidsperioderna. Under tidsperioderna har, som vi sett i avsnitt 4.1, fler statsaktörer tillkommit, och likaså har fler kanter lagts till.

I Figur 14 ses Rysslands (ljusblått) dominans under det kalla kriget även om USA (mörkblått) också är framträdande. Vid kalla krigets slut avtar Rysslands aktiviteter avsevärt. USA ser ut att ta över och håller en relativt stark och konsistent närvaro in i den moderna rymdåldern. Kina (ljusgrönt) börjar ta större plats och koppla till fler aktörer under mitten av den eviga freden, från tidigt 2000-tal, och ser ut att växa under den moderna rymdåldern. Även Japan (mörkgrön) har varit framträdande i viss utsträckning, men dess närvaro tycks avta, med några undantag, från och med 2010. Intressant är att se hur både Italien (ljuslila) och Storbritannien (mörkorange) i stor utsträckning varit med ända sedan tidigt 1960-tal. De övriga statsaktörerna tar en relativ liten plats i nätverken under i stort sett hela det kalla kriget, och det är strax innan 1990-talet som satelliter från övriga statsaktörer börjar kopplas ihop med fler ägare och tillverkare. Under den moderna rymdåldern ser det ut som att de tio största statliga rymdaktörerna står för närmare 70 % av kanterna i nätverken.

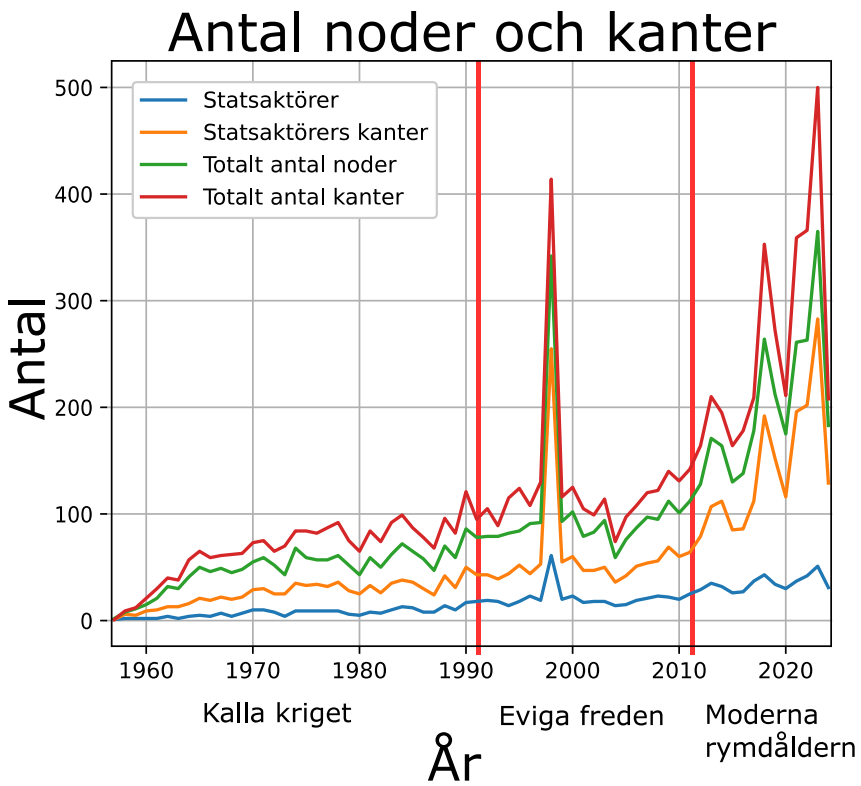


Figur 14. Ett stapeldiagram över den normaliserade graden för de tio största rymdaktörerna mellan 1957 och 2024 där statsaktörernas grad normaliseras mot alla statsaktörers sammanlagda grad för varje år. Brytpunkterna mellan de tre tidsperioderna kalla kriget, eviga freden och den moderna rymdåldern är alla märkta med röda markeringar.

I Figur 15 visas antal noder och kanter i nätverket år för år från 1957 till 2024. Den blå linjen visar antalet statsaktörer i nätverket, i orange visas dessa statsaktörers sammanslagna kanter, den gröna linjen visar det totala antalet noder (inklusive stater) och den mörkröda visar alla kanter i nätverket. De röda vertikala markeringarna markerar brytpunkterna för de olika tidsperioderna. Eftersom staterna i satellitnätverket inte kopplar till varandra, på grund av den linjära strukturen (se Figur 1), är varje kant tillhörande en stat unik och ingen dubbelräkning kommer att förekomma. Detta ger möjlighet att studera nätverkets tillväxtegenskaper.

I Figur 15 kan vi se att antalet stater i nätverket ökar stadigt över alla tre tidsperioder, om än med vissa fluktuationer och med undantag för den väldigt markanta toppen 1998. År 1998 blev den internationella rymdstationen (*International Space Station,* ISS) klar. Alla satelliter som skickats upp till ISS sedan 20 november 1998 och som rymdsatts från ISS har fått 1998-11-20 som uppskjutningsdatum [23] vilket gör att den kraftiga toppen i Figur 15 är missvisande. För vidare analys behöver annoteringen i datamängden ses över och det går i nuläget inte att säga något konkret om värdena på noder eller kanter för 1998.

I mitten av 2000-talet verkar det ha varit en brytpunkt från vilken antalet aktörer i nätverket och dess kopplingar har ökat kraftigt; mest framträdande är detta under den moderna rymdåldern. Dock uppvisas inte samma tillväxt av stater. Skillnaden mellan antalet statsaktörer (blått) och det totala antalet noder (grönt) representerar alla ickestatsaktörer (ägare, tillverkare samt ägare och tillverkare) som tillkommit i nätverket, vilka under den moderna rymdåldern utgör en stor andel. Det ökande antalet aktörer i nätverket medför att en stats normaliserade grad riskerar att minska när fler noder introduceras om dessa inte är kopplade till den staten. Med det i åtanke är det intressant att se hur de tio största aktörerna håller sin normaliserade grad på en relativt jämn nivå (70 %), se Figur 14, vilket innebär att en stor del av tillväxten sker kring de tio största statliga aktörerna.



Figur 15. Antal noder och kanter i nätverken mellan 1957–2024. I blått visas antalet noder av typen stat, i orange visas det sammanlagda antalet kanter som kopplar till en statsaktör, i grönt visas det totala antalet noder (alla typer inklusive stater) och i mörkrött det totala antalet kanter. Den kraftiga toppen 1998 beror på annoteringen i datamängden där alla objekt som släppts från ISS efter den 20 november 1998 får detta uppskjutningsdatum.

5 Diskussion

Utifrån föregående kapitel finns det ett antal aspekter det går att reflektera och göra observationer kring relaterat till data, metod och resultat.

5.1 Reflektioner kring datamängderna

Även om metoden i sig är oberoende av datamängden så är resultaten högst avhängiga ingående data. På grund av den stora omfattningen av den använda datamängden har inte all data kopplad till varje enskild satellit kunnat verifieras, men källan är en internationellt erkänd sammanställning och har under lång tid använts inom FOI:s kvalitativa rymdforskning där den över tid uppvisat stor vederhäftighet. Eftersom resultaten bygger på aggregerade data har eventuella fel i enskilda datapunkter begränsad effekt på uppnådda resultat.

Utöver den omhändertagna övergången från Sovjetunionen till Ryssland så finns det ett antal ytterligare ändringar över tid i datamängden som inte omhändertagits. De hittills identifierade dylika ändringarna rör främst beteckningar på uppskjutningsplatser, där exempelvis Plesetsk finns under beteckningen NIIP-53 såväl som GIK-1. Det ändrar dock inte analyserna sett till statsaktörer.

Ytterligare en avvikelse i datamängden som inte hanterats är att rymdobjekt som blivit rymdsatta från ISS i datamängden har uppskjutningsdatumet satt som ISS uppskjutningsdatum 1998. Detta har skapat anomalier i satellitnätverken där ett tydligt exempel är *SpaceX* närvaro redan under den eviga freden samt i antalet kanter och noder för just år 1998 för den årsvisa tidsserieanalysen.

5.2 Metodens styrkor och svagheter

Det bör noteras att för uppskjutningsnätverket kopplas en stat till två noder för varje satellit, vilket gör att satelliten i någon mån kan anses vara dubbelräknad. Dock är det inte själva satelliten i sig som är intressant utan snarare den koppling som satelliten utgör.

Det behöver förstås att resultaten av metoderna för *community detection* måste tolkas med försiktighet. De satta gränsvärdena, i form av upplösning för grupperna eller valt fast antal grupper som noderna ska delas in i, kan få stort utslag på resultaten som i viss mån mer kan ses som uppslag för vidare frågeställningar än som hårda resultat.

Avslutningsvis måste betonas att det föreliggande arbetet utgör en demonstration av de möjligheter som SNA kan erbjuda i ett specifikt sammanhang. För mer långtgående slutsatser krävs en djupare analys än vad som varit möjligt inom ramen för detta arbete.

5.3 Möjliga vägar framåt för utveckling av metoden

Under arbetets gång har ett antal möjligheter till utveckling av metoden identifierats:

- Att dela upp den studerade tidsperioden i kortare intervaller skulle ge möjligheter till att närmare kunna studera när i tid som de observerade omsvängningarna i nätverket sker.
- Att göra olika viktningar av kanterna, eller uppdelning av resultaten, utifrån exempelvis storlek på satelliterna, satellitens typ/syfte, eller typ av bana skulle vara intressant att utforska såväl metod- som resultatmässigt.
- Den använda datamängden innehåller också information om byte av ägare av satelliter. Detta är något som skulle kunna undersökas om det kan utgöra grund för någon form av analys.

- Information om vilken stat en organisation är registrerad till kan attribueras till noderna för att synliggöra de nyckelaktörer som möjliggör internationella samarbeten.
- En jämförelse av de framtagna nätverkens struktur mot olika typer av teoretiska modeller eller slumpmässiga nätverk kan bygga vidare förståelse för nätens strukturella innebörd.
- Namnbyten för uppskjutningsplatser och data för rymdobjekt släppta från ISS bör omhändertas för att göra datamängden mer enhetlig över tid.
- I detta arbete har visats hur det är möjligt att identifiera vad som förefaller vara relevant avgränsade kluster (*communities*). Hur identifierade kluster utvecklas över tid sett till dessas struktur, kopplingar och sammansättning skulle vara ett möjligt område för vidare studier. Ett relevant mått för detta är att mäta ett klusters *clustering coefficient.*
- I detta arbete redovisas statiska bilder på aggregerade tidsperioder, men genom att tidsstämpla datapunkter kan vi tillämpa dynamisk utforskning av relevant information, till exempel tillkomna och bortfallande kopplingar.

5.4 Diskussion kring resultat

Utifrån den valda metoden går det att identifiera tydliga strukturella skillnader mellan de olika periodernas nätverk över rymdaktörer. Både satellit- och uppskjutningsnätverken går från att ha dominerats av USA och Ryssland/Sovjetunionen under kalla kriget till att uppvisa en mycket bredare integration mellan fler länder under den eviga freden. Resultaten för den moderna rymdåldern uppvisar tre utvecklingar: en kraftig tillväxt av antalet aktörer, ett tätare knutet nätverk, men samtidigt en motriktad trend med fler starka poler.

Det kan noteras att både satellit- och uppskjutningsnätverket uppvisar en över tid avtagande densitet, något som står i kontrast till utvecklingen med ökande densitet över tid som setts i det parallellt utförda arbetet byggt på internationella rymdhandelsdata [4]. Till viss del drivs detta troligen av ansatsen med strukturella grundstenar inom det föreliggande arbetet, vilket håller nere antalet möjliga korskopplingar på ett annat sätt än inom handelsdata, där korskopplingar kan uppstå mellan samtliga noder.

Det finns vidare en metodologisk skillnad mellan satellit- och uppskjutningsnätverket genom att de strukturella grundstenarna skiljer sig åt, där uppskjutningsnätverkets triangelformade grundstruktur i sig bidrar till en högre densitet kontra satellitnätverkets linjära grundstruktur. Mot detta verkar dock den begränsade globala mängden uppskjutningsplatser och uppskjutningsorganisationer som håller nere antalet möjliga korskopplingar i uppskjutningsnätverket.

Specifikt i satellitnätverket går strukturen över tid från större noder i form av främst myndigheter som ägare och enskilda underleverantörer, till att i den moderna rymdåldern uppvisa allt fler mindre men radiella noder som utgör både ägare och tillverkare, vilket reflekterar den kommersiella utvecklingen men också minskar densiteten för nätverket.

Det kan noteras att metoden för *community detection* i satellitnätverket för kalla kriget delar upp den amerikanska försvarsrelaterade delen av nätverket i två delar, som kan ses som en underrättelsedel respektive en militär del.

6 Slutsatser

Utifrån det uttryckta syftet att undersöka tillämpbarheten av metoder inom SNA för systematiserad analys av relationerna mellan rymdaktörer går det att från resultaten dra ett antal slutsatser:

- Det genomförda arbetet demonstrerar potentialen av att tillämpa nätverksanalys för att studera rymddomänen, utan någon identifierad känd motsvarighet i den vetenskapliga litteraturen.
- Ansatsen med strukturella byggstenar (”motiv”) för skapandet av multimodala nätverk har visat sig tillämpbar för studier av rymddomänen, med vidare utvecklingspotential.
- Den nyttjade datamängden har visat sig vara mycket informationsrik, men ytterligare bearbetning av denna kan förhöja värdet av vidare resultat och analys.
- Resultaten visar att aktörsnätverket kan användas för att följa rymddomänens utveckling över tid, från ett mindre bipolärt nätverk till det tätt integrerade nätverket som ses i dag med ett antal mycket framträdande aktörer.
- Resultaten tyder vidare på att aktörsnätverket kan användas för att dra övergripande slutsatser om industristrukturer hos olika aktörer.
- Ett flertal spår för vidare metodutveckling och forskning har identifierats. Ett sådant är att tidsstämpla datapunkterna för att möjliggöra en dynamisk graf som möjliggör interaktiv utforskning över tid.
- I ljuset av annan forskning på området skulle den föreliggande datamängden kunna kompletteras med annan information för att bidra till en större helhetsförståelse för rymddomänen, vilket dock skulle kräva en betydande arbetsinsats.
- Nätverksanalys kan identifiera strukturellt intressanta noder och länkar som förslag på en mer riktad och detaljerad analys. Metoden kan också belysa trender och skeenden inom rymddomänen vilket kan ge uppslag för vidare analyser och studier, men ger inte i sig självt indikationer om anledningarna eller bevekelsegrunderna för dessa händelser. Således bör nätverksanalysen kombineras med andra metoder och en etablerad domänexpertis för att förstå och tolka resultaten.

7 Referenser

[1] J. Westman, F. Guldstrand, A. Johlander, S. Lindström, L. Mattsson, N. Normelli, O. Rasmusson, N. Wingborg och A. M. Wårlind, ”Omvärldsanalys Rymd 2023, FOI-R--5516--SE,” FOI, Stockholm, 2023.

[2] K. Hallgren och J. Westman, ”Metod för beskrivning och bedömning av rymdaktörer, FOI-R--5205--SE,” FOI, Stockholm, 2021.

[3] J. Westman och F. Guldstrand, ”Förstudie - utforskning av metoder för social nätverksanalys tillämpat på rymdaktörer, FOI Memo 8110,” FOI, Stockholm, 2023.

[4] F. Guldstrand, S. Lindström, L. Mattsson och J. Westman, ”A Longitudinal Network Analysis of the Space Sector Using International Trade Data [inskickad och accepterad],” i *Social Networks Analysis and Mining, 16th International Conference, ASONAM 2024, Rende, Italy, September 2–5, 2024, Proceedings, Part IV, Lecture Notes in Computer Science, vol 15214*, Rende, Italien, 2025.

[5] M. Aliberti, O. Cappelli och R. Praino, Power, state and space, Schweiz: Springer Nature, 2023.

[6] B. Adams, ”Cooperation in space: An international comparison for the benefit of emerging space agencies,” *Acta Astronautica,* pp. 409-416, 2019.

[7] J. Clark, C. Koopmans, B. Hof, P. Knee, R. Liesout, P. Simmonds och F. Wokke, ”Assessing the full effects of public investment in space,” *Space Policy,* vol. 30, nr 3, pp. 121-134, 2014.

[8] S. Ben-Itzhak, ”The Changing Dynamics of International Cooperation in Space: Network Analysis of Space Blocks,” i *73rd International Astronautical Congress*, Paris, 2022.

[9] G. Beaumier, C. Couette och J.-F. Morin, ”Hybrid organisations and governance systems: the case of the European Space Agency,” *Journal of European Public Policy,* pp. 1-31, 2024.

[10] J.-F. Morin och E. Tepper, ”The Empire Strikes Back: Comparing US and China’s Structural Power in Outer Space,” *Global Studies Quarterly,* pp. 1-13, 2023.

[11] M. Borowitz, ”Examining the Growth of the Global Space Situational Awareness Sector: A Network Analysis Approach,” *Space Policy,* vol. 59, 2021.

[12] A. Orlova, R. Nogueira och P. Chimenti, ”The Present and Future of the Space Sector: A Business Ecosystem Approach,” *Space Policy,* 2020.

[13] R. Danielli och F. Saracco, ”Bibliometric and Social Network Analysis on the Use of Satellite Imagery in Agriculture: An Entropy-Based Approach,” *Agronomy,* 2023.

[14] E. M. Hafner-Burton, M. Kahler och A. H. Montgomery, ”Network Analysis for International Relations,” *International Organization,* vol. 63, nr 3, pp. 559-592, 2009.

[15] R. Johansson, M. Rosell, T. Gustavi, E. Tjörnhammar och P. Hammar, ”Knowledge, Graphs and Language Models, FOI-R--5504--SE,” FOI, Stockholm, 2024.

[16] S. Wasserman och K. Faust, Social Network Analysis: Methods and Applications, New York, NY, USA: Cambridge University Press, 1994.

[17] J. C. McDowell, ”General Catalog of Artificial Space Objects, Release, 1.5.7,” 2020. [Online]. Available: https://planet4589.org/space/gcat. [Använd 12 November 2024].

[18] A. Jones, ”China’s space station maneuvered to avoid Starlink satellites,” SpaceNews, 28 December 2021. [Online]. Available:

https://spacenews.com/chinas-space-station-maneuvered-to-avoid-starlink-satellites/. [Använd 12 November 2024].

[19] A. Jones, ”A Chinese satellite is now active weeks after an anomaly during launch,” SpaceNews, 19 Oktober 2021. [Online]. Available: https://spacenews.com/a-chinese-satellite-is-now-active-weeks-after-an-anomaly-during-launch/. [Använd 12 November 2024].

[20] J. Rainbow, ”Eutelsat and OneWeb agree multi-orbit merger plan,” SpaceNEws, 25 Juli 2022. [Online]. Available: https://spacenews.com/eutelsat-and-oneweb-discussing-multi-orbit-merger-plan/. [Använd 12 November 2024].

[21] T. Kruczek, ”Resources - Jonathan's Space Report,” Keep Track, 26 Maj 2024. [Online]. Available: https://www.keeptrack.space/resources/jonathan-space-report/. [Använd 12 November 2024].

[22] J. C. McDowell, ”Orbital Launch Log Column Descriptions,” GCAT: General Catalog of Artificial Space Objects, 11 November 2024. [Online]. Available: https://planet4589.org/space/gcat/web/cat/llog.html. [Använd 13 November 2024].

[23] J. C. McDowell, ”Object Catalog Column Descriptions,” GCAT: General Catalog of Artificial Space Objects, 11 November 2024. [Online]. Available: https://planet4589.org/space/gcat/web/cat/cols.html. [Använd 13 November 2024].

[24] J. C. McDowell, ”The Space Organizations Catalog,” GCAT: General Catalog of Artificial Space Objects, 11 November 2024. [Online]. Available: https://planet4589.org/space/gcat/web/orgs/index.html. [Använd 13 November 2024].

[25] S. Papadogiannakis och A. Johlander, ”Slutrapport - genomfört arbete inom rymdlägesbild 2021-2023. FOI Memo 8362,” FOI, Stockholm, 2023.

[26] OHB, ”Main shareholders of OHB SE establish family foundation to preserve the Company's ownership profile,” OHB, 4 Oktober 2022. [Online]. Available: https://www.ohb.de/en/investor-relations/ir-news/ir-announcements/main-shareholders-of-ohb-se-establish-family-foundation-to-preserve-the-companys-ownership-profile. [Använd 13 November 2024].

[27] L. Stone, D. Simberloff och Y. Artzy-Randrup, ”Netowrk motifs and their origins,” *PLoS Computational Biology,* vol. 15(4), nr e1006749, 2019.

[28] R. Milo, S. Shen-Orr, S. Itzkovitz, N. Kashtan, D. Chklovskii och U. Alon, ”Network Motifs: Simple Building Blocks of Complex Networks,” *Science,* vol. 298, nr 5594, p. 824–827, 2002.

[29] W. McKinney, ”pandas: a foundational Python library for data analysis and statistics.,” i *Python for high performance and scientific computing*, Seattle, USA, 2011.

[30] A. A. Hagberg, D. A. Schult och P. J. Swart, ”Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX,” i *Proceedings of the 7th Python in Science Conference*, Pasadena, USA, 2008.

[31] M. Bastian, S. Heymann och M. Jacomy, ” Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks,” i *Proceedings of the international AAAI conference on web and social media*, San Jose, California, USA, 2009.

[32] V. D. Blondel, J. L. Guillaume, R. Lambiotte och E. Lefebvre, ”Fast unfolding of communities in large networks,” *Journal of statistical mechanics: theory and experiment,* vol. 10, nr P10008, 2008.

ISSN 1650-1942

www.foi.se