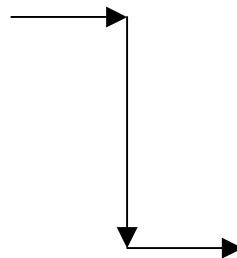
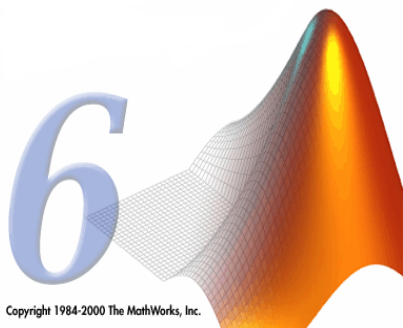




SIMULINK 5.0 Aloitusopas

© Matti Lähteenmäki
2004
www.tpu.fi/~mlahteen/

MATLAB[®]
The Language of Technical Computing



Simulink[®]

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	3
2	Simulink-demot	3
3	Yksinkertainen Simulink-malli	6
4	Simulinkin käytön perustoiminnot	9
5	Lohkot	10
6	Signaalit	13
7	Alijärjestelmät	16
8	Simuloinnin suorittaminen	17
9	Tulosten analysointi	19

1 Johdanto

Simulink on MATLABin lisäohjelma, jonka avulla voidaan mallintaa, simuloida ja analysoida dynaamisia järjestelmiä teknillisen laskennan eri osa-alueilta. Dynaamiselle järjestelmälle on tyypillistä jonkinlainen aikariippuvuus. Tutkittavat järjestelmät voivat olla lineaarisia tai epälineaarisia ja niiden aikariippuvuus voi olla jatkuvaa, diskreettiä tai näiden sekatyyppiä.

Simulinkissa on järjestelmien mallintamiseen käytettävissä graafinen käyttöliittymä, jonka avulla malli luodaan vuorovaikutteisesti ns. lohkokaaavion muodossa. Lohkokaavio koostuu lohkoista ja signaaliviivoista. Lohkot esittävät esimerkiksi tarkasteltavan järjestelmän matemaattisissa yhtälöissä olevia operaatioita tai järjestelmän sisäänmenoja tai sen ulostuloja. Lohkojen välillä on signaaliviivoja, jotka kuvaavat lohkojen välisiä yhteyksiä. Simulinkissa on käytettävissä suuri määrä valmiita peruslohkoja ryhmiteltynä toimintatapansa perusteella lohkokirjastoiksi, mutta käyttäjä voi luoda myös omia lohkojaan ohjelmoimalla ns. S-funktioita.

Simulink-lohkokaaviot ovat luonteeltaan hierarkisia, mikä mahdollistaa mallin luomisen sekä ylhäältä-alas että alhaalta-ylös periaatteella. Jos esimerkiksi järjestelmä on hyvin monimutkainen, voidaan sen lohkokaaavio rakentaa ylhäältä-alas periaatteella koostumaan monesta tietyn itsenäisen toiminnon suorittavasta alimallista. Alimallien lohkokaavioiden laadinta voidaan tällöin suorittaa erillisinä osatehtävinä ja kokonaisuuden hahmottaminen on helpompaa, kun voidaan keskittyä alimallien vuorovaikutusten tarkasteluun.

Kun dynaamista järjestelmää kuvaava lohkokaaavio on luotu, voidaan järjestelmän käyttäytymistä simuloida ratkaisemalla lohkokaaavion esittämä yhtälöjärjestelmä jollakin integrointimenetelmällä. Ratkaisu voidaan tehdä joko Simulinkin menuista tai MATLABin komentokunasta. Tuloksia voidaan tarkastella simuloinnin aikana tähän tarkoitukseen varattujen lohkojen avulla ja ne voidaan myös tallentaa MATLABin muuttuja-avaruuteen myöhempää analysointia varten. Työskentely Simulinkissa on usein vuorovaikutteista, mallia muokataan ja analysoidaan vuorotellen. Tavoitteena on mallin parametrien valinta niin, että saavutetaan haluttu käyttäytyminen.

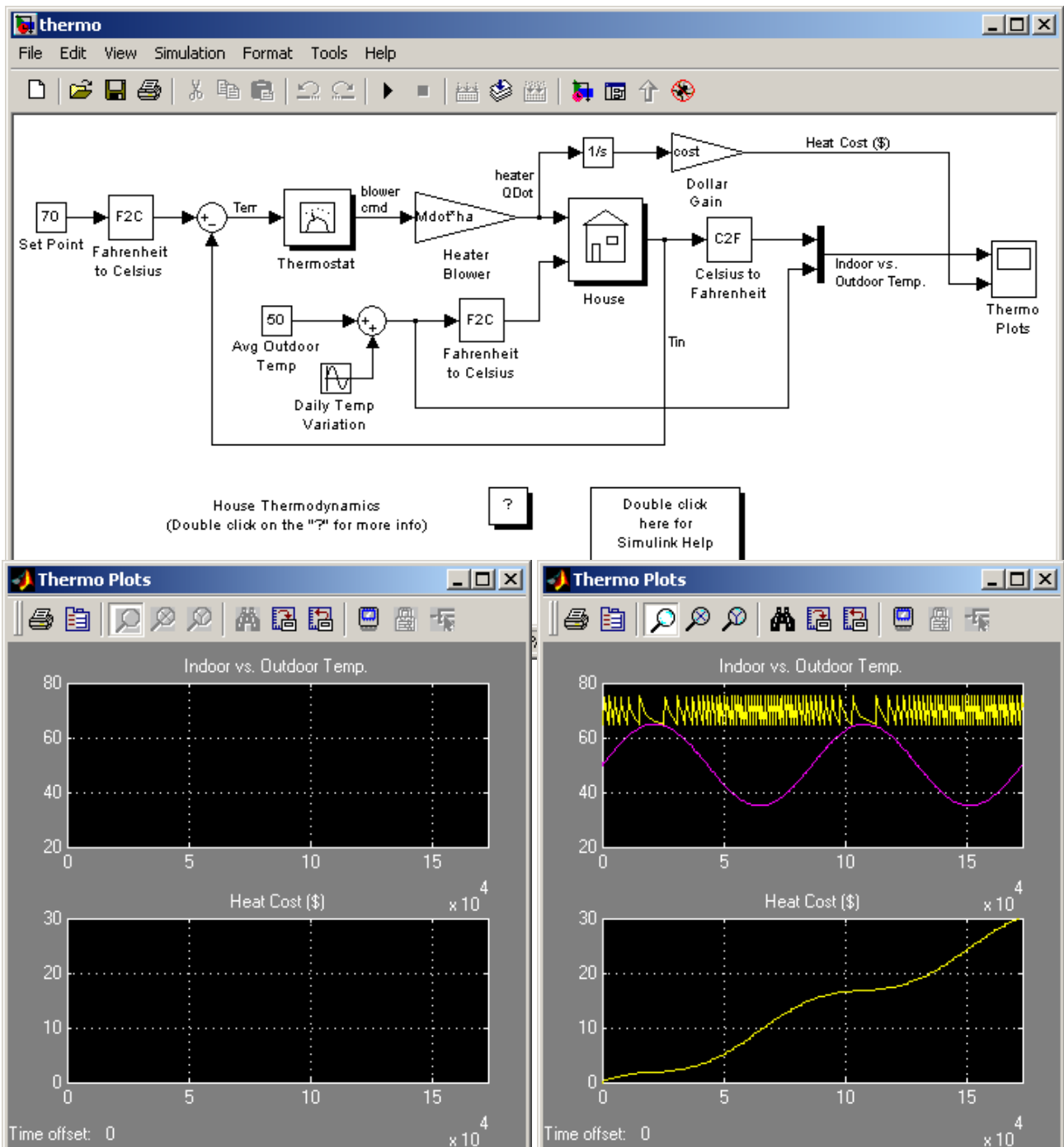
2 Simulink-demot

Simulinkin mukana tulee suuri joukko sen käyttöä havainnollistavia lohkokaaavio-esimerkkejä. Lohkokaavioita vastaavat tiedostot nimetään Simulinkissa muodossa `tiedostonimi.mdl`. Esimerkkeihin liittyvät `mdl`-tiedostot ovat hakemistossa `$matlabroot\toolbox\simulink\simdemos`, missä `$matlabroot` on se hakemistopolku, johon MATLAB on asennettu.

Esimerkkejä voi tutkia mm. MATLABin käynnistysalustan kautta valitsemalla Simulink-kohdasta Demos. Tällöin käynnistyy MATLABin Ohje-selain siten, että Simulink-demoja sisältävät kansiot (Features, General, Automotive, Aerospace) ovat näkyvissä selaimen vasemmassa reunassa. Kun jokin demo-kansio avataan, tulevat sen sisältämien demojen nimet näkyviin. Kun demon nimi valitaan, tulee siihen liittyvää informaatiota näkyviin selaimen oikeaan osaan. Demotiedostoja voi sitten avata selaimen vasemmasta osasta kaksoisklikkaamalla demon nimeä tai oikeasta osasta linkistä Open this model.

Toinen mahdollisuus esimerkin tutkimiseen on avata vastaava mdl-tiedosto suoraan sen sijaintihakemistosta tai kirjoittaa vastaava tiedostonimi (ilman mdl-tarkenninta) komentona MATLABin komentoriville.

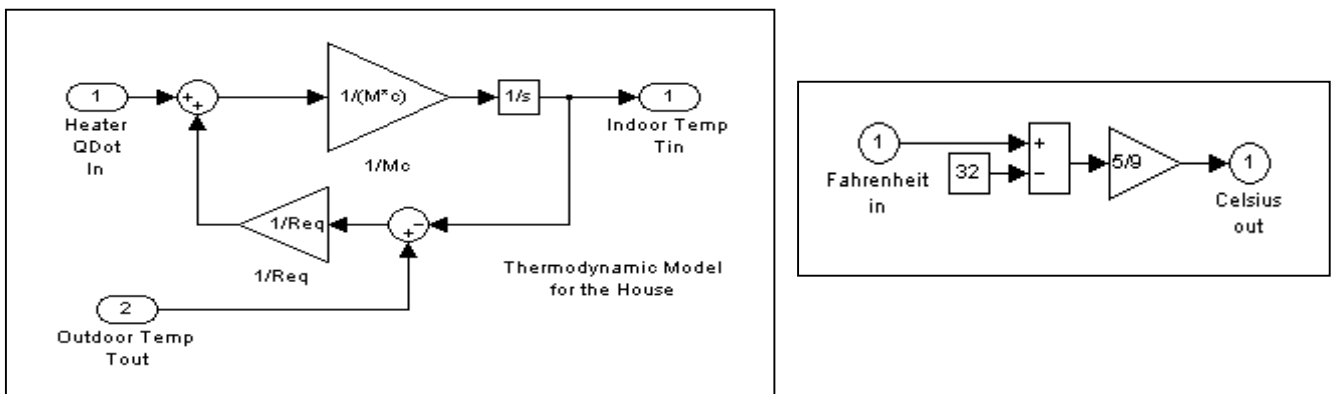
Tarkastellaan esimerkkinä Ohje-selaimen General-kansiossa olevaa lohkokaaaviota Thermodynamic model of a house. Vastaava mdl-tiedosto `thermo.mdl` on em. `simdemos`-hakemiston alihakemistossa `simgeneral`. Tämä esimerkki simuloi talon sisälämpötilan ja lämmityskustannusten vaihtelua, kun ulkolämpötila vaihtelee tunnetulla tavalla ja termostaatti on asetettu tiettyyn vakioarvoon. Kun mallitiedosto avataan, tulee näkyviin seuraava malli-ikkuna, joka sisältää järjestelmän lohkokaaavion ja samalla aukeaa toinen ikkuna Thermo Plots (kaksoisklikkaa lohkokaaavion Thermo Plots lohkoa, ellei tämä ikkuna aukea).



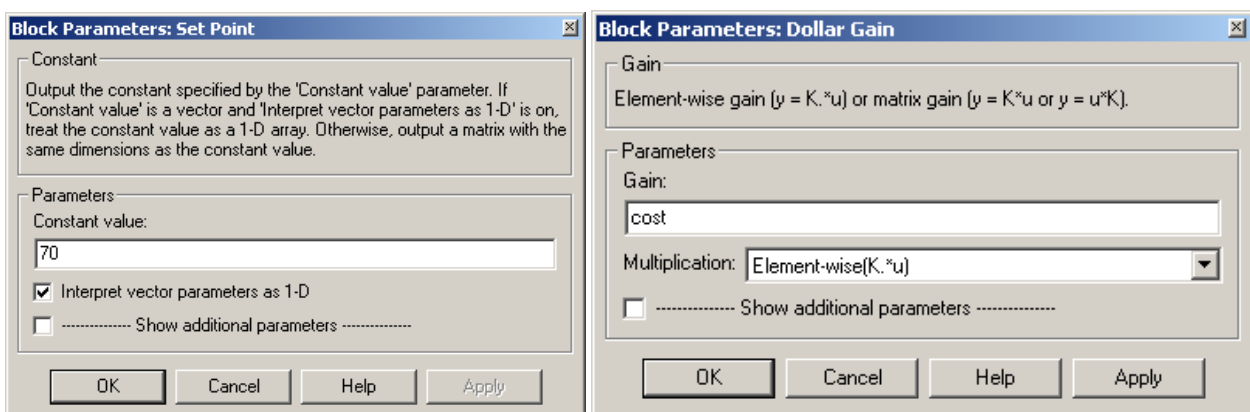
Thermo Plots ikkunassa esitetään sisä- ja ulkolämpötilan sekä lämmityskustannusten vaihtelu ajan funktiona.

Simulaatio käynnistetään malli-ikkunan Simulation-valikosta valitsemalla Start tai työkalurivin Start ainikkeesta (musta kolmio). Simulaation aikana Thermo Plots ikkunaan piirretään suureiden vaihtelua kuvaavat käyrät. Simulaation voi asettaa keskeytystilaan valitsemalla Simulation valikosta Pause tai työkalurivin Pause painikkeesta (kaksi mustaa pystypalkkia). Tarkasteltavassa esimerkissä simulointiaika on niin lyhyt, että keskeytystä ei ehdi tekemään. Simulaatio lopetetaan valitsemalla Simulation valikosta Stop tai työkalurivin Stop painikkeesta (musta neliö).

Esimerkin lohkokaaviossa on käytetty tavallisten Simulink lohkojen lisäksi alijärjestelmiä ylhäältä-alas periaatteen mukaisesti. Näitä ovat lohkot House, Thermostat, F2C ja C2F. Alijärjestelmän lohkokaavio avautuu mm. lohkon putkahdusvalikosta valitsemalla Look under mask. Seuraavassa kuvassa on alijärjestelmien House ja F2C lohkokaaviot.

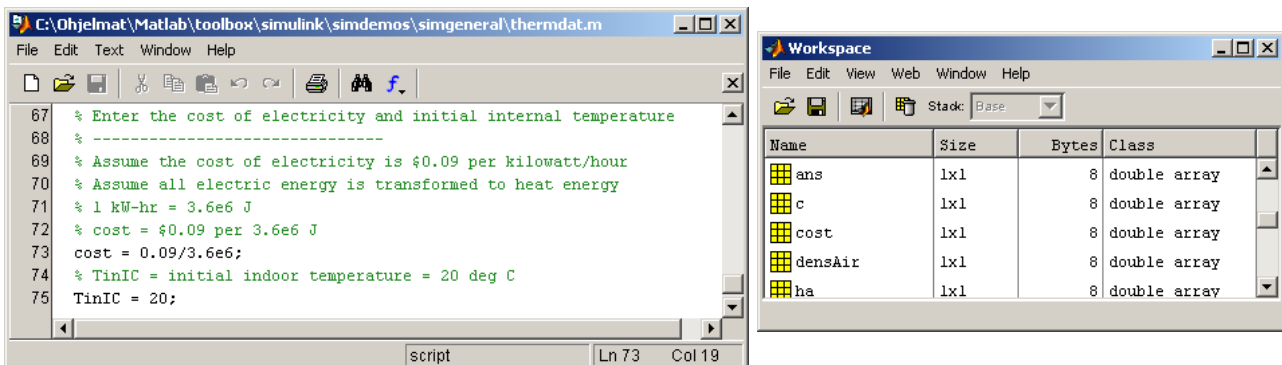


Simulink lohkoilla on ns. lohkoparametreja, jotka ovat lohkoon liittyvien suureiden arvoja. Lohkoparametrit annetaan lohkon parametri-ikkunassa, joka tulee näkyviin kaksoisklikkaamalla lohkoa. Seuraavassa kuvassa on Constant lohkon Set Point parametri-ikkuna, jossa annetaan sisäilman lämpötilan arvo Fahrenheit-asteina. Kuvassa on myös Gain lohkon Dollar Gain parametri-ikkuna, jossa annetaan lämpöenergian yksikköhinta muuttujalla `cost`. Lohkoarametreja voidaan antaa myös muuttujilla, jotka on määritelty MATLABin komentoikkunassa tai m-tiedostossa. Tässä tapauksessa muuttujan `cost` arvo on määri-



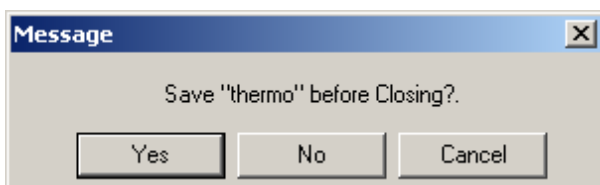
tely m-tiedostossa `thermdat.m`, joka löytyy `simdemos`-hakemiston alihakemistosta `sim-general`. Kyseinen m-tiedosto on skripti, joka ajetaan avattaessa mallitiedosto `ther-`

mo.mdl. Tässä m-tiedostossa on määritelty myös monia muihin lohkoihin liittyviä parametreja. Seuraavassa kuvassa näkyy ote tästä tiedostosta. Komentoikkunassa tai skriptissä määritellyt parametrit näkyvät luonnollisesti MATLABin muuttuja-avaruudessa, kuten seuraavasta kuvasta myös näkyy.



Lohkoparametreja muuttamalla voidaan tutkia mallin käyttäytymistä eri lähtöarvoilla. Parametreja muutetaan tilanteen mukaan joko parametri-ikkunassa tai m-tiedostossa tai MATLABin muuttuja-avaruudessa. Voit kokeilla esimerkiksi seuraavien muutosten vaikutusta Thermo Plots ikkunaan tuleviin käyriin (voit sovittaa käyrät kuvaan Thermo Plots ikkunan työkalurivin kiikari-painikkeella):

1. Muuta Constant lohkon Set Point parametri-ikkunassa sisälämpötilan arvoksi 80 °F.
2. Muuta Source lohkon Daily Temp Variation parametri-ikkunassa ulkolämpötilavaihtelun amplitudiksi 20 °F (kohdassa Amplitude).

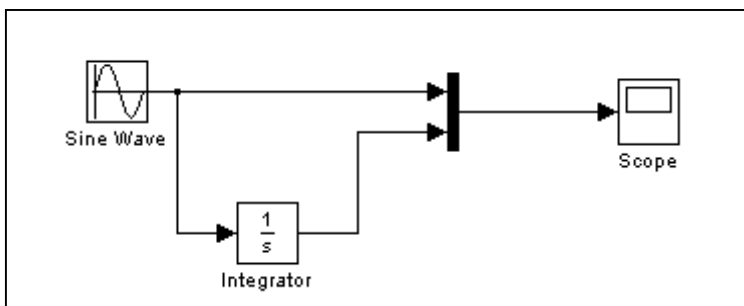


Lopetettuasi esimerkin tutkimisen sulje mallitiedosto valitsemalla File > Close. Jos muutit lohkoparametrien arvoja, ohjelma kysyy oheisen kuvan mukaisesti, tallennetaanko tehdyt muutokset. Vastaa No, jotta ohjelman mukana tulevaan demoon ei tule

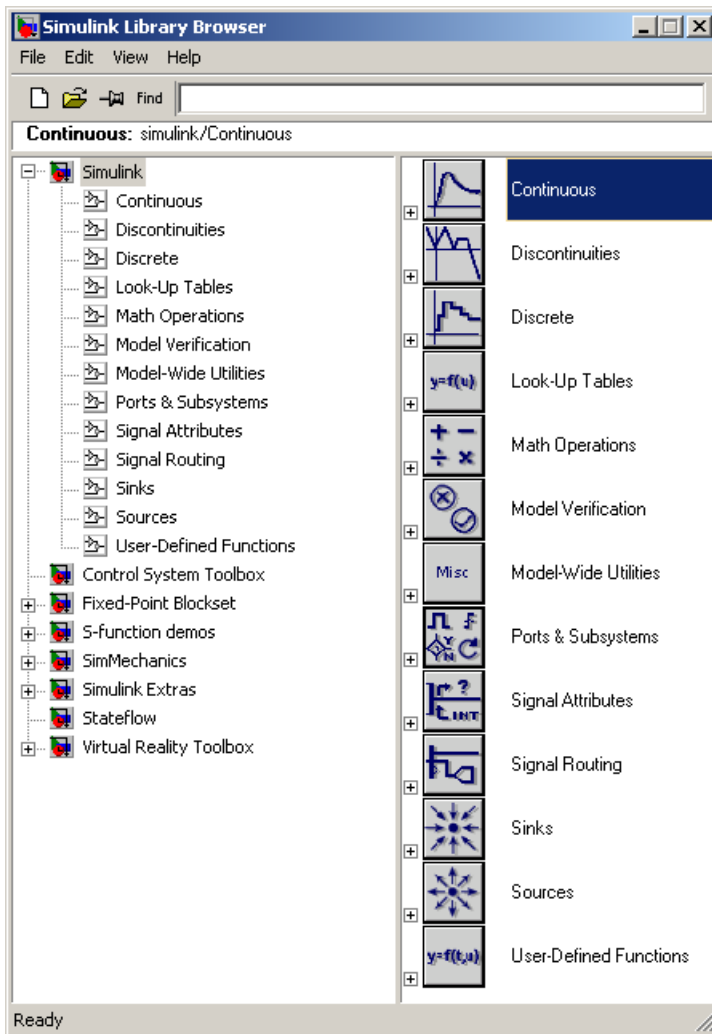
pysyvää muutosta. Jos kuitenkin haluat säilyttää muutetun demon, tallenna se omaan työhakemistoosi toisella nimellä.

3 Yksinkertainen Simulink-malli

Tässä luvussa laaditaan yksinkertainen Simulink lohkoakaavio, jonka yhteydessä tulee kuitenkin esiin suuri osa mallien laadintaan liittyvistä periaatteista ja toiminnoista. Mallien laadintaan perehdytään yksityiskohtaisemmin seuraavissa luvuissa.

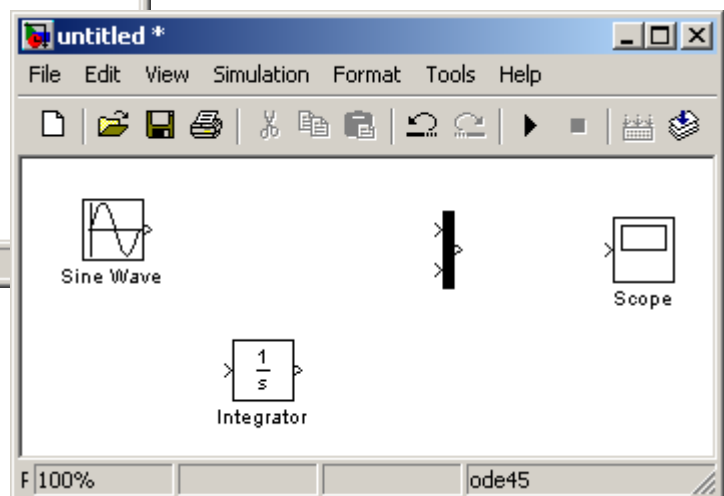
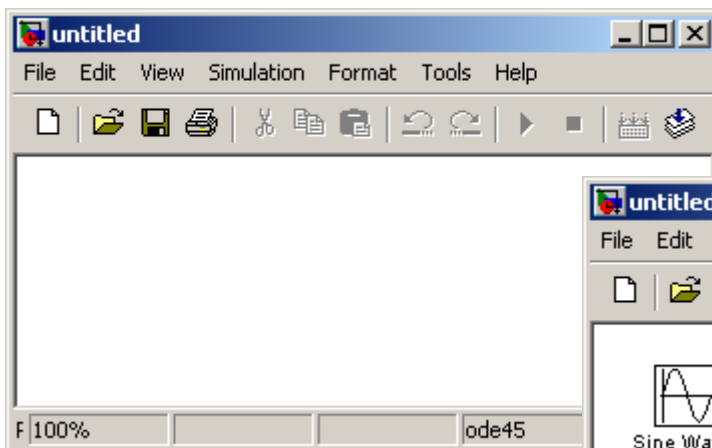


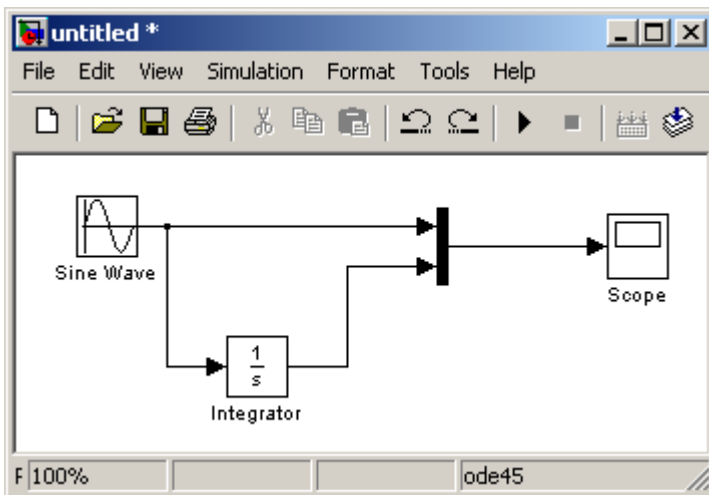
Tässä laadittava malli integroi Source lohkon ulostulosta saatavan sinikäyrän ja tulostaa alkuperäisen ja integroidun käyrän kuvaajat Scope lohkoon. Mallin valmis lohkoakaavio on viereisessä kuvassa.



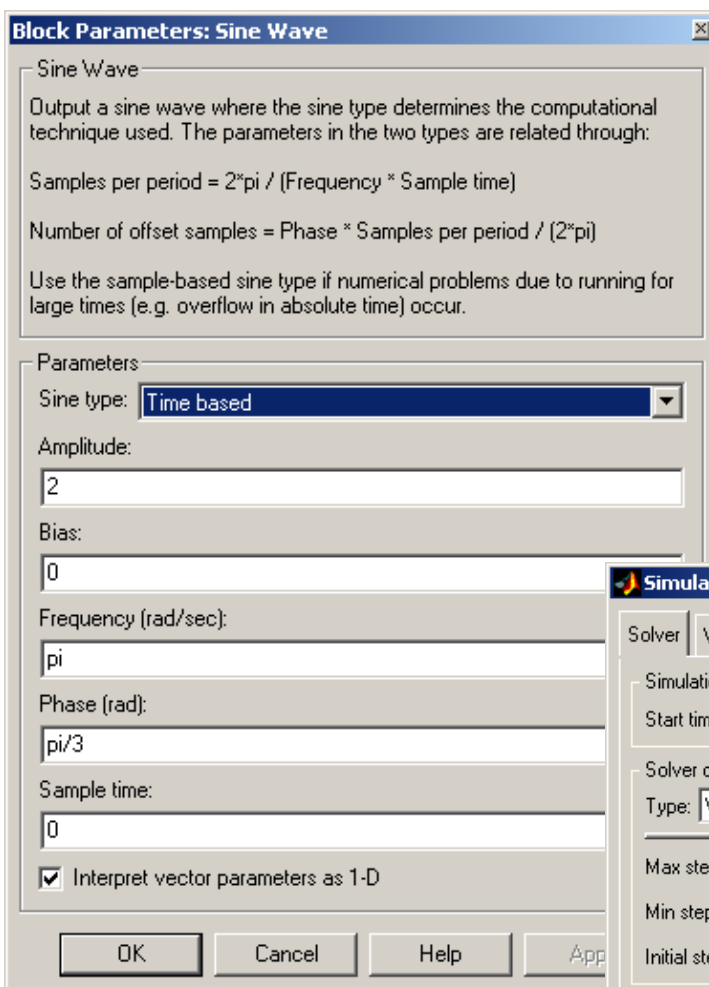
Mallin luomiseksi on ensin käynnistettävä MATLAB ja sen jälkeen Simulink joko työkalurivin Simulink painikkeesta tai kirjoittamalla komentoriville käsky `simulink`. Tällöin aukeaa Simulinkin lohkokirjastoselain (Simulink Library Browser), jossa näkyvät käytettävissä olevat lohkokirjastot. Kukaan kirjasto sisältää joukon Simulink-lohkoja, jotka tulevat näkyviin avaamalla ko. kirjasto selaimen vasemmasta osasta kirjaston nimeä klikkaamalla tai oikeasta osasta **+**-merkkiä klikkaamalla.

Uuden mallin luominen aloitetaan joko lohkokirjastoselaimen työkalurivin painikkeesta **New** tai valikosta **File > New > Model**. Tällöin aukeaa tyhjä malli-ikkuna, johon mallissa tarvittavat lohkot kopioidaan lohkokirjastoista. Tässä tarvittavat lohkot ovat Sources kirjastosta Sine Wave, Sinks kirjastosta Scope, Continuous kirjastosta Integrator ja Signal Routing kirjastosta Mux. Lohkojen kopiointi kirjastosta malli-ikkunaan tapahtuu hiiren vasemmalla näppäimellä vetämällä. Kun lohkot on kopioitu, näyttää malli-ikkuna alla olevan kuvan mukaiselta.

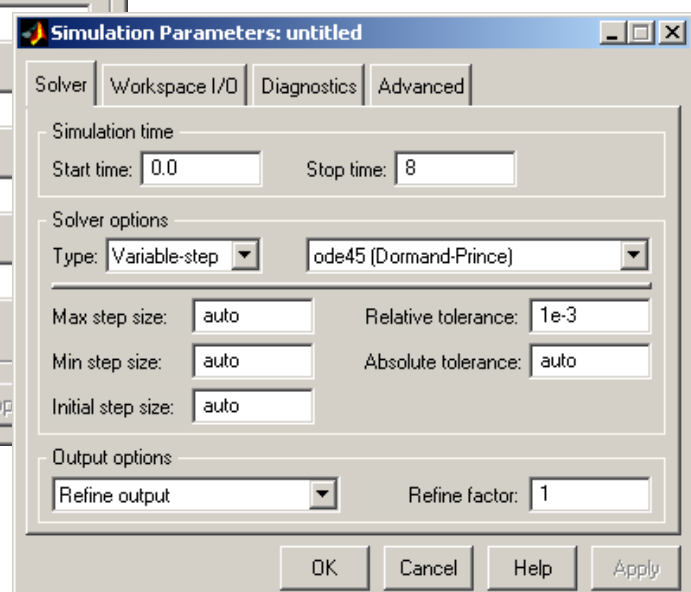




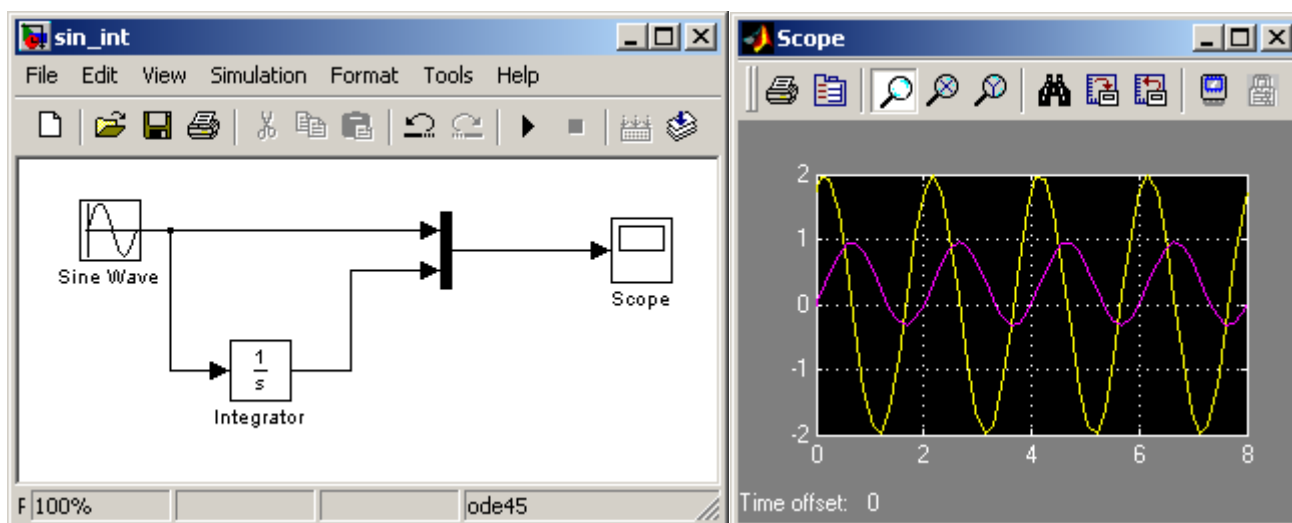
Lohkojen reunoilla näkyvät nuolenkärjet ovat lohkon sisäänmenoja ja ulostuloja, joiden kautta lohkojen väliset signaalit menevät lohkon sisään tai tulevat siitä ulos. Lohkojen väliset signaaliviivat piirretään vetämällä hiirellä vasen näppäin alas painettuna lohkon ulostulosta toisen lohkon sisäänmenoon. Vetämisen ajaksi kohdistin muuttuu hiusristikoksi. Kun signaaliviiva on vedetty, katoavat nuolenkärjet lohkojen reunoilta. Signaaliviiva haaroitetaan viemällä kohdistin haaroitettavalle viivalle ja vetämällä sen jälkeen hiiren oikea näppäin alas painettuna (tai vetämällä hiiren vasen näppäin ja Ctrl-näppäin alas painettuna). Haaroituskohtaan tulee signaaliviivalle musta piste. Kun signaaliviiva on vedetty, näyttää malli-ikkuna oheisen kuvan mukaiselta. Virheellinen lohko tai signaaliviiva voidaan poistaa valitsemalla se ensin hiirellä ja painamalla sen jälkeen Delete-näppäintä.




Seuraavaksi avataan Sine Wave lohkon parametri-ikkuna kaksoisklikkaamalla sitä ja määritellään integroitavan sinifunktion parametreille viereisen kuvan mukaiset arvot. Valitaan vielä malli-ikkunan valikosta Simulation > Simulation Parameters... ja muutetaan esiin tulevan ikkunan Solver välilehdellä kohtaan Stop Time arvoksi 8 (simuloinnin päättymishetki). Malli on nyt valmis, joten tallennetaan se nimellä `sin_int.mdl` valitsemalla File > Save as.





Kun Scope lohko avataan kaksoisklikkaamalla sitä ja simulointi käynnistetään malli-ikkunan työkalurivin Start painikkeesta, saadaan alla olevan kuvan mukaiset käyrät.




4 Simulinkin käytön perustoiminnot

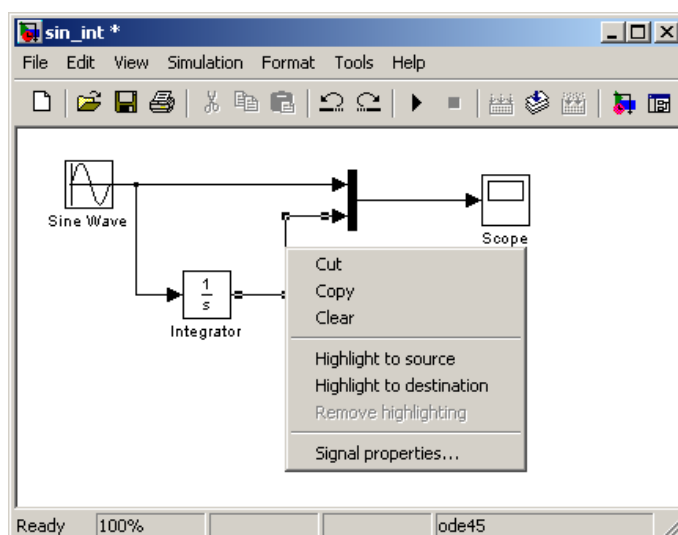
Käynnistäminen: Ensin käynnistetään MATLAB. Sitten käynnistetään Simulink joko klikkaamalla  painiketta MATLABin työkalurivillä tai kirjoittamalla MATLABin komentoriville komento `simulink`. Simulinkin käynnistyttyä aukeaa sen lohkokirjastoselain.


Uuden mallin aloittaminen: Klikataan lohkokirjastoselaimen työkalurivin painiketta  tai valitaan File-valikosta New > Model. Tällöin aukeaa tyhjä malli-ikkuna, johon mallissa tarvittavat lohkot kopioidaan lohkokirjastoista.

Vanhan mallin avaaminen: Klikataan lohkokirjastoselaimen työkalurivin painiketta  tai valitaan File-valikosta Open ja valitaan avattava mdl-tiedosto. Toinen mahdollisuus on antaa avattavan tiedoston nimi ilman mdl-tarkenninta komentona MATLABin komentoriville, jolloin kyseisen tiedoston on oltava työhakemistossa tai hakupolussa.

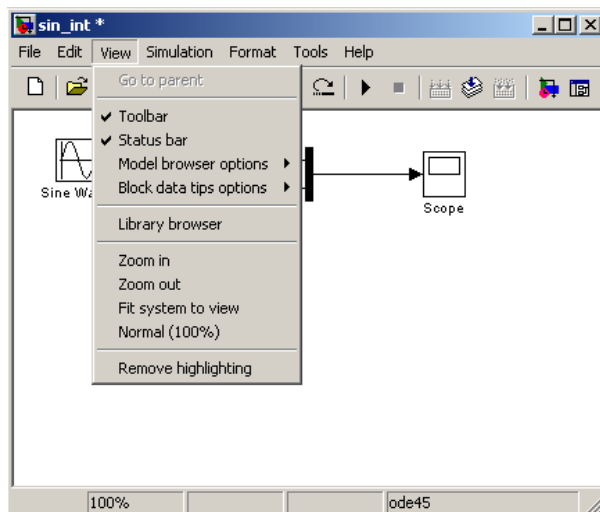
Komentojen antaminen: Mallin luonnissa ja simuloinnissa tarvittavat komennot annetaan malli-ikkunan menurivin valikoista, työkalurivin painikkeista tai lohkokaavion objektien putkahdusvalikoista. Työkalurivin saa näkyviin tai piilotettua menurivin View valikosta.


Komentojen peruuttaminen: Komentoja voidaan peruuttaa Edit valikosta valitsemalla Undo tai työkalurivin painikkeesta . Perumisen voi perua



Edit-valikosta valitsemalla Redo tai työkalurivin painikkeesta . Kaikkia komentoja ei voida peruuttaa ja suurin määrä peruttavissa olevia komentoja on 101 kpl.

Zoomaus: Malli-ikkunan näkymää voi muuttaa View valikon komennoilla Zoom in, Zoom out, Fit system to view ja Normal (100%). Zoom in saadaan aikaan myös r-näppäimellä ja Zoom out v-näppäimellä.



Mallin tallentaminen: Valitaan File valikosta Save tai Save As tai klikataan  painiketta. Tallennettavan mallitiedoston tarkentimen on oltava mdl ja sen nimessä voi olla korkeintaan 63 merkkiä. Sallitut merkit ovat kirjaimet, numerot ja alaviiva. Tiedostonimen ensimmäisen merkin on oltava kirjain.

Lohkokaavion kopioiminen tekstidokumenttiin: Kopioidaan lohkokaavio ensin leikepöydälle Edit valikon komennolla Copy model to clipboard ja liitetään sieltä tekstidokumenttiin (esim. Ctrl+v).

Lohkokaavion tulostaminen: Valitaan File valikosta Print. Avautuvan Print Model keskusteluikkunan Options kohdassa määritellään hierarkkiselle systeemille tulostuslaajuus.

Raportin laatiminen: Simulink raportti on HTML-dokumentti, jossa on esitetty mm. systeemin lohkokaaviot ja sen parametrien arvot. Valitaan File menusta Print details ja määritellään ensin avautuvassa keskusteluikkunassa raporttiedoston sijainti ja raportoinnin laajuus ja tulostetaan sitten raportti Print painikkeesta. Valmis raportti aukeaa käyttäjän oletusselaimeen.

Sulkeminen: Simulinkin käyttö lopetetaan sulkemalla kaikki Simulink ikkunat tai sulkemalla MATLAB.

5 Lohkot

Lohkot ovat Simulink mallin peruselementtejä. Käytännöllisesti katsoen minkä tahansa dynaamisen systeemin malli voidaan laatia kytkemällä lohkoja toisiinsa sopivalla tavalla. Tässä kappaleessa tarkastellaan lohkoihin liittyviä perustoimintoja.

Vihje-ikkuna: Kun kohdistin viedään lohkon päälle, aukeaa ikkuna, jossa on lohkoon liittyvää tietoa. Vihje-ikkunan näkyminen ja sisältö määrätään valikosta View > Block data tips options.

Lohkon tyyppi: Lohkoja on kolmea eri tyyppiä.

- Ei-virtuaalinen lohko suorittaa jonkin toiminnon ja sen lisääminen tai poistaminen muuttaa mallin toimintaa. Suurin osa lohkoista on ei-virtuaalisia.
- Virtuaalinen lohko ei vaikuta mallin toimintaan, sen avulla vain organisoidaan mallia graafisesti. Virtuaaliset lohkot ovat Bus Creator, Bus Selector, Demux, Enable Port, From, Goto, Goto Tag Visibility, Ground, Mux ja Terminator.
- Ehdollisesti virtuaalinen lohko on tietyissä tilanteissa virtuaalinen ja muutoin ei-virtuaalinen. Ehdollisesti virtuaaliset lohkot ovat Inport, Outport, Selector, Subsystem ja Trigger Port.

Lohkon tai signaaliviivan valinta:

- Yksi objekti valitaan klikkaamalla sitä hiirellä. Valittuun lohkoon kulmiin ja valitun signaaliviivan päihin tulee mustat kahvat.
- Monta objekti valitaan klikkaamalla niitä hiirellä peräkkäin Shift-näppäin alas painettuna tai ikkunoimalla ne hiirellä. Valittu objekti poistetaan monivalinnasta klikkaamalla sitä hiirellä Shift-näppäin alas painettuna.
- Kaikki objektit valitaan valitsemalla Edit valikosta Select all tai ikkunoimalla koko lohko-kaavio tai näppäilemällä Ctrl+a.

Lohkon ulkonäön muuttaminen:

- Suunnan muuttaminen: Oletuksena on, että signaalit kulkevat lohkoon läpi vasemmalta oikealle, sisäänmeno on vasemmalla ja ulostulo oikealla. Suunnan voi muuttaa Format valikosta tai valitsemalla lohkoon putkahdusvalikosta Format. Valitsemalla Format valikosta Flip Block lohkoa kierretään 180° tai Rotate Block lohkoa kierretään 90° myötäpäivään.
- Koon muuttaminen: Valitaan lohko ja vedetään kahvoista hiirellä vasen näppäin alas painettuna.
- Heittovarjo: Tulee näkyviin valituille lohkoille Format valikosta tai putkahdusvalikosta kohdasta Format, joista valitaan edelleen Show drop shadow. Vastaavasti valinnalla Hide drop shadow poistetaan heittovarjo.

Lohkon nimi: Lohkokaavion jokaisella loholla on oltava yksikäsitteinen nimi, jonka tulee sisältää vähintään yksi kirjain. Oletuksena on, että nimi näkyy lohkoon alla (portit vasemmalla ja oikealla) tai vasemmalla puolella (portit ylhäällä ja alhaalla).

- Nimen muuttaminen: Valitaan nimi hiirellä ja tehdään sitten muutokset.
- Nimen siirtäminen: Nimen voi vetää hiirellä lohkoon vastakkaiselle puolelle. Nimen siirto onnistuu myös Format valikosta tai putkahdusvalikosta kohdasta Format, joista valitaan edelleen Flip name.
- Nimen näkyminen: Nimen voi piilottaa Format valikosta tai putkahdusvalikosta kohdasta Format, joista valitaan edelleen Hide name.
- Fontin valinta: Lohkossa ja nimessä käytetyn fontin voi valita Format valikosta tai putkahdusvalikosta kohdasta Format, joista valitaan edelleen Font.

Lohkokaavion värien valinta:

- Malli-ikkunan taustaväri määrätään valitsemalla Format valikosta Screen color, minkä jälkeen valitaan jokin vakioväreistä tai räätälöity väri.
- Valittujen lohkojen taustaväri määrätään valitsemalla Format valikosta Background color, minkä jälkeen valitaan jokin vakioväreistä tai räätälöity väri.

- Valittujen lohkojen edustaväri määrätään valitsemalla Format valikosta Foreground color, minkä jälkeen valitaan jokin vakioväreistä tai räätälöity väri. Myös lohkon ulostuloista lähtevät signaaliviivat saavat valitun edustavärin.
- Kun Format valikosta valitaan Sample time colors, ottaa Simulink käyttöön lohkoille värikoodauksen, joka perustuu niiden näytteenottoväleihin. Muutokset lohkojen väreissä päivittyvät valitsemalla Edit valikosta Update diagram. Värikoodaus poistetaan päältä valitsemalla Format valikosta uudelleen Sample time colors.

Lohkojen kopioiminen:

- Lohkoja voidaan kopioida lohkokirjastoselaimesta, lohkokirjastoista tai muista Simulink malleista tavanomaisesti valitsemalla ensin kopioitavat lohkot ja vetämällä ne sitten hiirellä malli-ikkunaan vasen näppäin alas painettuna. Kopioidut lohkot nimetään automaattisesti ristiriidattomasti ja ne perivät alkuperäisten lohkojen lohkoparametrien arvot.
- Saman mallin sisällä lohkoja kopioidaan valitsemalla ne ensin ja vetämällä sitten hiiren oikea näppäin (tai Ctrl ja vasen näppäin) alas painettuna toisen paikkaan.

Lohkojen siirtäminen: Valittuja lohkoja siirretään hiirellä vetämällä vasen näppäin alas painettuna. Signaaliviivat päivittyvät automaattisesti lohkojen uusien sijaintien mukaisiksi. Valittujen lohkojen aseman hienosäätö suoritetaan nuolinäppäimillä, oletuksena on siirto viiden pikselin askeleina.

Lohkon sijoittaminen signaaliviivalle: Viedään lohko hiiren vasen näppäin alas painettuna signaaliviivan päälle haluttuun kohtaan ja pudotetaan siihen, jolloin lohkon kytkennät syntyvät automaattisesti. Tämä toiminto on mahdollinen vain, jos lohkolla yksi sisäänmeno ja yksi ulostulo.

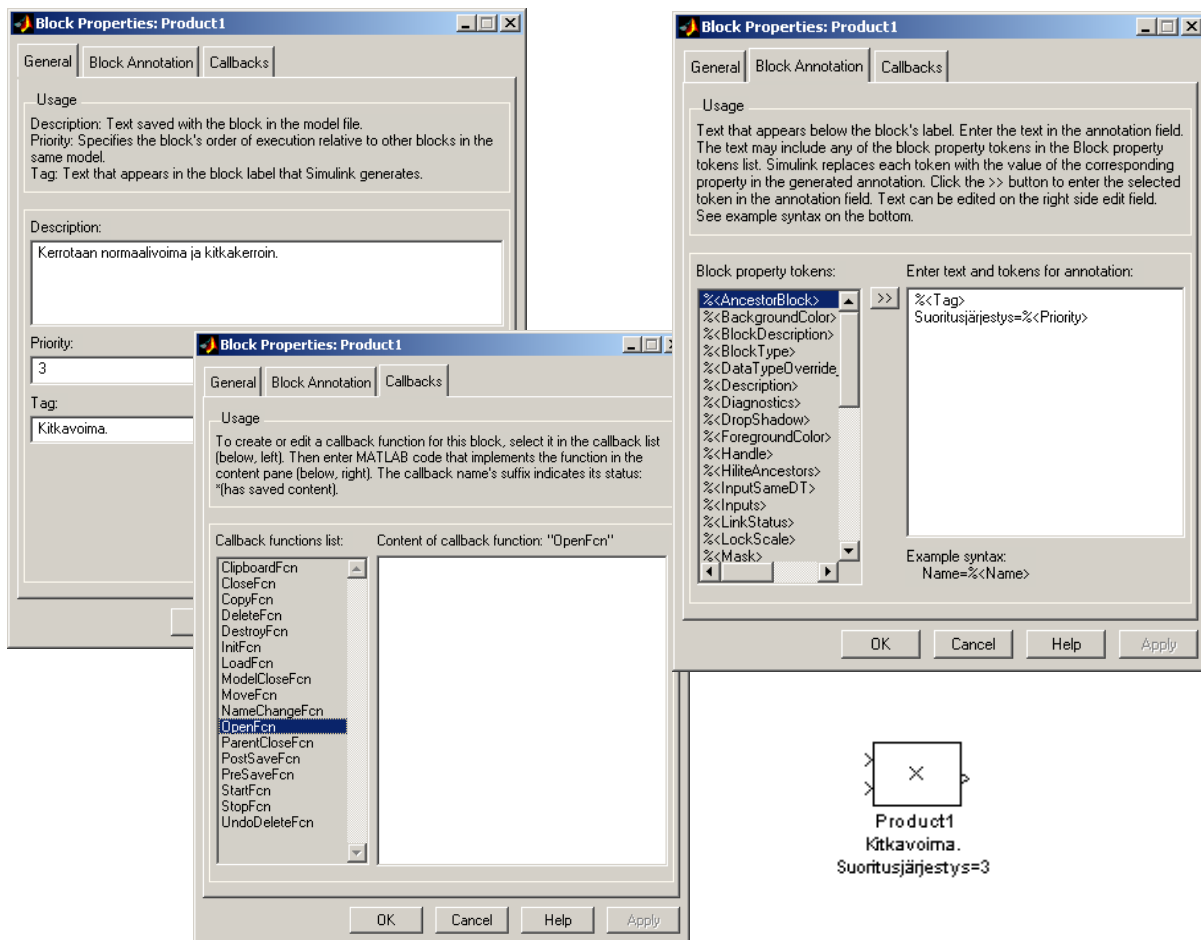
Lohkon irrottaminen signaaliviivoista: Siirretään lohko toiseen paikkaan Shift-näppäin ja hiiren vasen näppäin alas painettuina.

Lohkojen poistaminen: Valitaan lohkot ja painetaan Delete- tai Backspace-näppäintä tai valitaan Edit valikosta joko Cut (lohko jää leikepöydälle) tai Clear (lohko tuhoutuu).

Suoritusjärjestys: Simulink lohkokaaavion lohkoilla on tietty suoritusjärjestys, jota noudattaen niissä tapahtuvat matemaattiset operaatiot suoritetaan. Suoritusjärjestys tulee näkyviin valitsemalla Format valikosta Execution order. Tällöin lohkojen oikeaan yläkulmaan tulee punainen luku, joka kertoo monentenako lohko on suoritusjärjestyksessä. Suoritusjärjestys poistetaan näkyvistä antamalla sama komento uudestaan.

Lohkon parametrit: Simulink lohkojen ominaisuudet on parametrisoitu, mikä tekee niiden käytön joustavaksi. Parametrien arvot annetaan lohkon parametri-ikkunassa, joka aukeaa valitulle lohkolle Edit valikosta tai putkahdusvalikosta kohdasta BLOCK parameters (sanat BLOCK kohdalla on lohkon nimi) tai kaksoisklikkaamalla lohkoa. Lohkoparametrit voidaan antaa numeerisina arvoina tai lausekkeina MATLABin syntaksin mukaisesti.

Lohkon ominaisuudet: Kaikilla Simulink lohkoilla on joukko yhteisiä parametreja, joita kutsutaan lohkon ominaisuuksiksi. Lohkon ominaisuuksia annetaan keskusteluikkunassa, joka aukeaa valitulle lohkolle Edit valikosta tai putkahdusvalikosta kohdasta Block properties. Avautuvassa keskusteluikkunassa on kolme välilehteä. General välilehdellä voidaan antaa lyhyt kuvaus lohkon tarkoituksesta, suoritusjärjestys (otetaan huomioon vain, jos on ristiriidaton) ja lohkon nimeen tuleva lisäys. Block Annotation välilehdellä määritellään mit-



kä lohkoparametrit esitetään lohkon kuvassa. Callbacks välilehdelle kirjoitetaan lohkon liittyvät tapahtumakohtaiset funktiot. Yllä on esimerkki erään Product lohkon ominaisuuksista.

Tekstialueet: Malli-ikkunan vapaalle alueelle voidaan sijoittaa tekstialueita, joissa on esim. malliin liittyvää informaatiota. Uusi tekstialue perustetaan kaksoisklikkaamalla vapaata kohtaa ja kirjoittamalla teksti muodostuvaan laatikkoon. Tekstialuetta voidaan siirtää hiirellä vetämällä. Tekstiä voidaan hieman muotoilla Format valikosta valitsemalla Font tai Alignment. Laittamalla Format valikosta Enable TeX commands päälle, voidaan kirjoittaa matemaattisia merkkejä, muita symboleja ja kreikkalaisia kirjaimia käyttämällä TeX formaattia.

6 Signaalit

Signaaliviivat ovat Simulink lohkokaaavion peruselementtejä, jotka kuvaavat lohkojen ulostuloista simuloinnin aikana saatavia muuttujien arvoja ja niiden siirtymistä toisten lohkojen käyttöön niiden sisäänmenojen kautta.

Signaaliviivojen manuaalinen piirtäminen:

- Signaaliviivan piirtäminen kahden lohkon välille: Vedetään hiirellä vasen (tai oikea) näppäin alas painettuna lohkon ulostulosta toisen lohkon sisäänmenoon (tai päinvastoin). Kohdistin on ensimmäisessä portissa hiusristikko ja toisessa kaksinkertainen hiusristikko.

ko. Kun viiva on piirretty, porttien symbolit häviävät lohkoista. Syntyvä viiva muodostuu vaaka- ja pystysuorista viivasegmenteistä.

- **Signaaliviivan haaroittaminen:** Haaroittamalla signaaliviiva voidaan sama signaali syöttää monelle lohkolle. Viedään kohdistin haaroitettavalle viivalle ja vedetään hiirellä oikea näppäin (tai Ctrl ja vasen näppäin) alas painettuna haara. Haaroituskohtaan tulee musta piste.
- **Viivasegmentin piirtäminen:** Vedetään viiva lohkon sisäänmenosta tai ulostulosta hiirellä vasen (tai oikea) näppäin alas painettuna malli-ikkunan vapaalle alueelle. Syntyvä viiva muodostuu vaaka- ja pystysuorista viivasegmenteistä. Viivasegmentit ovat punaisia katkoviivoja ja kytkemättömässä päässä on nuolenkärki. Viivasegmenttiä voidaan jatkaa vetämällä hiirellä sen kytkemättömästä päästä.
- **Viivasegmentin siirtäminen:** Valitaan siirrettävä segmentti ja vedetään hiirellä vasen näppäin alas painettuna segmentti haluttuun kohtaan.
- **Viivasegmentin jakaminen kahdeksi viivasegmentiksi:** Valitaan ensin jaettava segmentti, painetaan Shift-näppäin alas, klikataan segmentille jakopiste hiiren vasemmalla näppäimellä ja vedetään jakopiste hiiren vasen näppäin alas painettuna haluttuun paikkaan.
- **Viivasegmentin kärkipisteen siirtäminen:** Valitaan ensin viivasegmentti, viedään kohdistin kärkipisteelle, jolloin se muuttuu ympyräksi, ja vedetään hiirellä vasen näppäin alas painettuna kärkipiste haluttuun paikkaan.

Signaaliviivojen automaattinen piirtäminen:

- **Kahden lohkon yhdistäminen:** Valitaan ensin signaaleja lähettävä lohko tavallisesti ja sitten signaaleja vastaanottava lohko hiiren vasemmalla näppäimellä Ctrl-näppäin alas painettuna. Jos yhdistettävissä lohkoissa on eri määrä portteja, piirretään niin monta signaaliviivaa kuin mahdollista edeten porttien numerointijärjestyksessä. Signaaliviivat kiertävät automaattisesti yhdistettävien lohkojen välissä sijaitsevat lohkot.
- **Lohkoryhmän yhdistäminen vastaanottavaan lohkoon:** Valitaan ensin signaaleja lähettävät lohkot tavallisesti ja sitten signaaleja vastaanottava lohko hiiren vasemmalla näppäimellä Ctrl-näppäin alas painettuna.
- **Lohkon yhdistäminen vastaanottavaan lohkoryhmään:** Valitaan ensin signaaleja vastaanottavat lohkot tavallisesti ja sitten signaaleja lähettävä lohko hiiren vasemmalla näppäimellä Ctrl-näppäin alas painettuna.

Signaaliviivojen nimeäminen: Kaksoisklikataan signaaliviivaa ja kirjoitetaan nimi muodostuvaan laatikkoon. Toinen mahdollisuus on valita signaaliviivan putkahdusvalikosta Signal properties... ja kirjoittaa nimi avautuvan keskusteluikkunan kenttään Signal name.

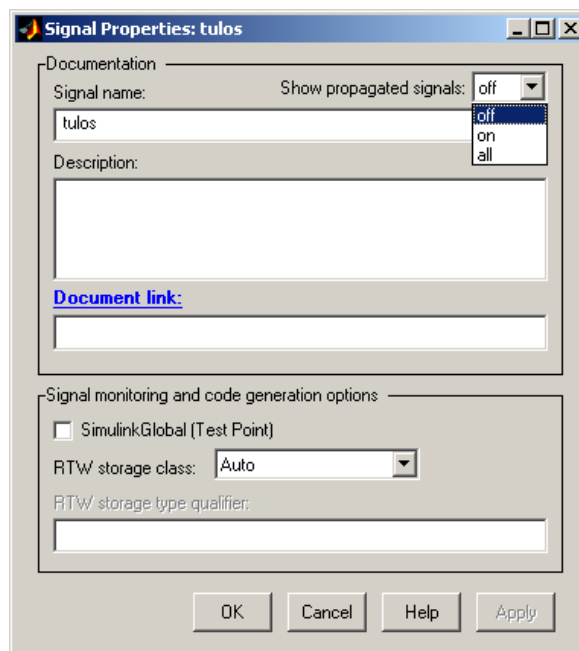
Signaalin dimensio: Simulink lohkot voivat tuottaa yksi- tai kaksiulotteisia signaaleja. Yksiulotteista (1-D) signaalia sanotaan vektoriksi ja kaksiulotteista (2-D) matriisiksi. Jos vektorissa tai matriisissa on vain yksi alkio, signaalia sanotaan skalaariksi. Tietyt lohkot voivat vastaanottaa tai tuottaa vain vektori- tai skalaarisignaaleja.

Signaalin tietotyyppi: Oletuksena on reaalinen double-tyyppinen signaali, mutta kaikki muutkin MATLABin tietotyypit ovat sallittuja. Myös kompleksilukusignaalit ovat mahdollisia.

Signaaliviivan ulkonäkö: Tähän liittyvät komennot ovat malli-ikkunan Format valikossa.

- **Wide nonscalar lines:** Vektori- ja matriisisignaalit esitetään vahvennetuilla viivoilla.
- **Signal dimensions:** Esitetään signaalien dimensiot.
- **Port data types:** Esitetään signaalien tietotyypit.

Virtuaalinen signaali: Virtuaalisten lohkojen tapaan virtuaalisia signaaleja käytetään mallin graafisen esityksen yksinkertaistamiseen. Niillä ei ole mitään matemaattista tai fysikaalista merkitystä. Virtuaaliset lohkot tuottavat virtuaalisia signaaleja, esimerkiksi Mux lohko yhdistää sisääntuloihinsa tulevat signaalit yhdeksi virtuaaliseksi signaaliksi. Virtuaaliseen signaaliin voi sisältyä sekä ei-virtuaalisia että virtuaalisia signaalikomponentteja. Virtuaalisen signaalin sisältämät komponentit saadaan näkyviin sen Signal Properties ikkunan kohdasta Show propagated signals. Vaihtoehto on tarkoittaa, että näytetään signaaliin sisältyvät ei-virtuaaliset ja virtuaaliset komponentit. Vaihtoehto all tarkoittaa, että esitetään signaaliin sisältyvät ei-virtuaaliset komponentit, jolloin siis mahdolliset virtuaaliset komponentit on purettu ei-virtuaaliseksi. Komponentit näytetään signaalin nimen perässä kärkisulkeissa pilkuilla toisistaan erotettuina. Simulink määrittää mallin päivityksen yhteydessä tai simuloinnin alkaessa virtuaalisiin signaaleihin sisältyvät ei-virtuaaliset signaalit ja käyttää niitä simuloinnissa.



Ohjaussignaali: Osa Simulink lohkoista toimii toisen lohkon lähettämän signaalin ohjainna. Ohjaussignaali esitetään mallissa pistekatkoviivoilla.

Signaaliväylä: Bus Creator ja Bus Selector lohkojen avulla voidaan luoda ja käsitellä signaaliväyliä. Väylät ovat virtuaalisia signaaleja ja sisältävät joukon signaaleja.

Ulostulosignaalin dimensio:

- **Source lohkot:** Koska näillä lohkoilla ei ole sisäänmenoja, riippuu ulostulosignaalin dimensio vain lohkoparametreista ja on sama kuin ulostuloparametrin dimensio, jos lohkon parametri-ikkunassa ei ole valittu kohtaa Interpret Vector Parameters as 1-D. Jos em. kohta on valittu, ulostulosignaalin dimensio on sama kuin ulostuloparametrin dimensio paitsi, jos ulostuloparametri on yksirivinen tai -sarakeinen matriisi, jolloin ulostulo on vektorisignaali.
- **Muut lohkot:** Ulostulosignaalin dimensio riippuu lohkoparametreista ja sisääntulosignaalin dimensiosta.

Signaalien ja parametrien dimensioita koskevia sääntöjä:

- Kaikilla lohkon sisäänmenosignaaleilla on oltava sama dimensio. Poikkeuksen muodostavat skalaarisignaali, jotka laajennetaan samaan dimensioon kuin muut signaalit.
- Lohkon parametreilla on oltava sama dimensio kuin sen sisäänmenoilla. Poikkeuksena ovat skalaariparametrit, jotka laajennetaan sisäänmenojen dimensioon. Vektoris sisäänmenoa vastaava parametri voi olla myös yksirivinen tai -sarakeinen matriisi.
- Jos vektorisignaali on kytketty matriisisisäänmenoa vaativaan porttiin, Simulink muuntaa sen yksiriviseksi tai -sarakeiseksi matriisiksi. Jos yksirivinen tai -sarakeinen matriisignaali on kytketty vektoris sisäänmenoa vaativaan porttiin, Simulink muuntaa sen vektoriksi. Vektorisignaalien ja yksirivisten tai -sarakeisten matriisignaalien yhdistelmien sisäänmenoissa Simulink suorittaa myös tarpeelliset muunnokset.

7 Alijärjestelmät

Monimutkaisia järjestelmiä mallinnettaessa kannattaa käyttää alijärjestelmiä. Tällöin kerralla malli-ikkunassa näkyvien lohkojen määrä vähenee, toiminnallisesti yhteen kuuluvat lohkot voidaan pitää yhdessä ja mallista voidaan tehdä hierarkkinen, mikä usein helpottaa sen toiminnan hahmottamista.

Alijärjestelmän konstruointi: Alijärjestelmä voidaan konstruoida joko alusta alkaen omassa malli-ikkunassaan tai ryhmittelemällä olemassa olevia lohkoja.

- Alijärjestelmän konstruointi omassa malli-ikkunassaan: Lisätään malliin Ports & Subsystems kirjastosta Subsystem lohko, avataan sen malli-ikkuna (esim. kaksoisklikkaamalla lohkoa) ja lisätään alijärjestelmään kuuluvat lohkot avautuneeseen tyhjäan ikkunaan. Alijärjestelmän sisäänmeno ja ulostulo mallinnetan Ports & Subsystems kirjaston lohkoilla In1 ja Out1.
- Alijärjestelmän konstruointi ryhmittelemällä lohkoja: Ikkunoidaan (muut monivalintatavat eivät ole mahdollisia) hiirellä lohkot ja signaalit, joiden halutaan kuuluvan luotavaan alijärjestelmään ja valitaan sitten Edit valikosta Create subsystem, jolloin Simulink korvaa tehdyn valinnan Subsystem loholla ja lisää siihen automaattisesti sisäänmenoportin In1 ja ulostuloportin Out1.

Alijärjestelmän maskaus: Subsystem lohko voidaan nimetä halutulla tavalla ja sille voidaan myös laatia oma parametri-ikkuna ja ns. maski, joka tarkoittaa lohkon 'rätälöityä' ulkonäköä. Maskaus ja parametri-ikkunan laatiminen tapahtuu editorilla, joka käynnistyy valitulle lohkolle Edit valikosta komennolla Mask subsystem. Muutoksia tehtäessä valitaan Edit valikosta komento Edit mask.

Alijärjestelmiin liittyviä toimintoja:

- Porttien nimien näkyvyys: Lohkon putkahdusvalikon komento Hide port labels (Show port labels) piilottaa (näyttää) porttien In1 ja Out 1 nimet.
- Lohkoparametrit: Annetaan parametri-ikkunassa, joka avautuu putkahdusvalikon komennolla SubSystem parameters.
- Avaaminen: Kaksoisklikataan lohkoa tai valitaan Edit valikosta Look under mask.
- Liikkuminen hierarkkiatasojen välillä: Mallin hierarkkiatasojen selailu onnistuu helposti malliselaimella, joka saadaan käyttöön View valikosta komennoilla Model browser options > Model Browser. Yhtä hierarkkiatasoa ylempään järjestelmään voi siirtyä myös joko Esc-näppäimellä tai View valikon komennolla Go to parent.
- Ikkunoinnin hallinta: Valitaan File > Preferences ja sitten Simulink keskusteluikkuna, jossa kentässä Window reuse valitaan sopiva vaihtoehto.

Tavallisten alijärjestelmien lisäksi Simulinkissa on käytettävissä ns. ehdollisia alijärjestelmiä, joiden suoritus riippuu yhden tai useamman sisäänmenosignaalin arvosta. Signaalia joka ohjaa alijärjestelmän suoritusta sanotaan ohjaussignaaliksi ja sitä vastaava alijärjestelmän sisäänmeno on ohjausportti. Ehdolliset alijärjestelmät tekevät mahdolliseksi sellaisten järjestelmien mallintamisen, jossa järjestelmän osien suoritus riippuu sen toisista osista. Ehdollisia alijärjestelmiä on neljää eri tyyppiä.

Päälle menevä alijärjestelmä: Suoritetaan jokaisella simulointiaskeleella, joilla ohjaussignaali on positiivinen arvo. Päälle menevällä alijärjestelmällä on yksi ohjaussignaali, joka voi olla skalaari tai vektori. Vektori on tässä tapauksessa positiivinen, kun yksikin sen

komponenteista on positiivinen. Päälle menevä alijärjestelmä luodaan lisäämällä Subsystem lohkon Enable lohko Ports & Subsystems kirjastosta. Tällöin Subsystem lohkon tulee pulssisymboli ja ohjausportti. Kun päälle menevä alijärjestelmä ei ole päällä, sen ulostulo voi olla toinen kahdesta vaihtoehdosta, jotka ovat viimeisin päälläoloarvo (held) ja tietty alkuarvo (reset). Kun päälle menevä alijärjestelmä menee päälle, sen tila voi olla toinen kahdesta vaihtoehdosta, jotka ovat viimeisin päälläoloarvo (held) ja tietty alkuarvo (reset). Ohjaussignaali voidaan haluttaessa ottaa päälle menevästä järjestelmästä ulostulona.

Liipaistava alijärjestelmä: Suoritetaan kerran jokaisen liipaisun jälkeen. Liipaistavalla alijärjestelmällä on yksi ohjaussignaali ja liipaisun saa aikaan sen nouseva tai laskeva reuna tai molemmat. Liipaistava alijärjestelmä luodaan lisäämällä Subsystem lohkon Trigger lohko Ports & Subsystems kirjastosta. Tällöin Subsystem lohkon tulee liipaisupulssin symboli ja ohjausportti. Liipaisun tyyppi valitaan Trigger lohkon parametri-ikkunassa ja sitä vastaava symboli tulee alijärjestelmän kuvakkeeseen näkyviin. Liipaistavan alijärjestelmän ulostulo on edellisen liipaisun jälkeisessä arvossaan seuraavaan liipaisuun asti. Ohjaussignaali voidaan haluttaessa ottaa liipaistavasta järjestelmästä ulostulona.

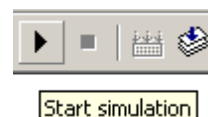
Päälle menevä ja liipaistava alijärjestelmä: Suoritetaan kerran jokaisen liipaisun jälkeen, mikäli päälle menoa ohjaavan signaalin arvo on positiivinen. Tällä järjestelmällä on siis kaksi ohjaussignaalia. Päälle menevä ja liipaistava alijärjestelmä luodaan lisäämällä Subsystem lohkon sekä Enable että Trigger lohko Ports & Subsystems kirjastosta. Tällöin Subsystem lohkon tulee pulssi- ja liipaisusymboli sekä kaksi ohjausporttia. Enable ja Trigger lohkojen parametreille voidaan tehdä edellä kuvattuja asetuksia.

Vuon ohjaukseen perustuvat alijärjestelmät: Simulinkissa on lohkoja jotka suorittavat C-kielen tyyppistä vuon ohjausta. Käytettävissä ovat `for`, `if-elseif-else`, `switch`, `while` ja `do-while` tyyppistä ohjausta suorittavat lohkot. Näiden lohkojen sisääntuloarvojen perusteella suoritetaan tiettyjä alijärjestelmiä joko vaihtoehtoisina (`if-elseif-else`, `switch`) tai iteratiivisesti (`for`, `while`, `do-while`).

8 Simuloinnin suorittaminen

Simulink mallin ajaminen on kaksivaiheinen prosessi. Ensin määritellään simulointiparametrit, kuten esimerkiksi simuloinnin alkamis- ja päättymisaika ja käytettävä ratkaisija. Sitten käynnistetään simulointi, jolloin Simulink ratkaisee mallin käyttäytymisen annetulla aikavälillä. Ratkaisun aikana käyttäjä voi tietyn rajoituksen muutella mallia. Simulointi voidaan haluttaessa pysäyttää ennen annettua päättymisaikaa tai keskeyttää ja jatkaa sitten tarvittaessa keskeytyskohdasta eteenpäin. Jos simuloinnin aikana tapahtuu virhe, Simulink keskeyttää ratkaisun ja näyttää Simulation Diagnostics virheilmoitusikkunan, mikä auttaa virheen syyn paikallistamisessa. Virheet näkyvät myös malli-ikkunassa.

Simuloinnin käynnistäminen: Klikataan työkalurivin Start simulation painiketta tai annetaan valikkokomento Simulation > Start.



Simuloinnin lopettaminen: Klikataan työkalurivin Stop simulation painiketta tai annetaan valikkokomento Simulation > Stop.



Simuloinnin keskeyttäminen: Klikataan työkalurivin Pause simulation painiketta tai annetaan valikkokomento Simulation > Pause.



Pause simulation

Simuloinnin jatkaminen: Klikataan työkalurivin Continue simulation painiketta tai annetaan valikkokomento Simulation > Continue.

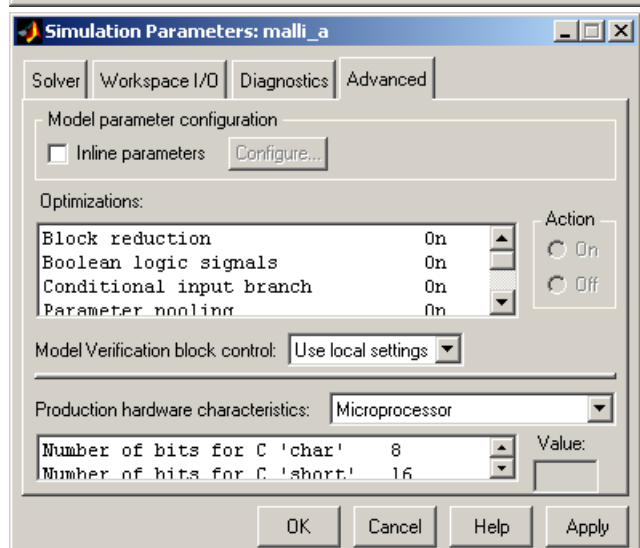
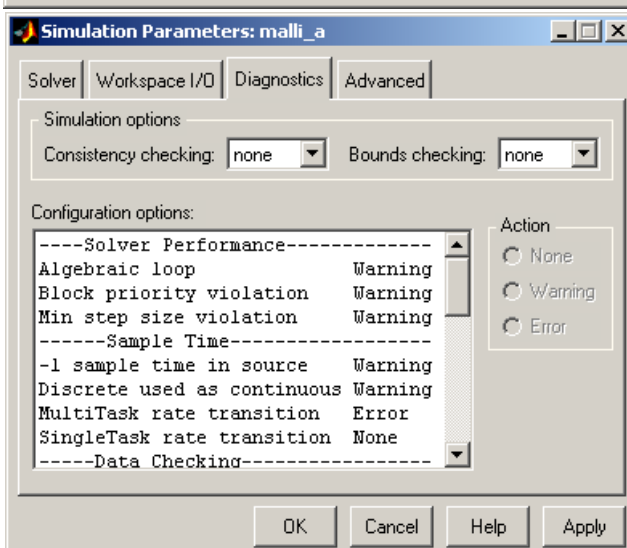
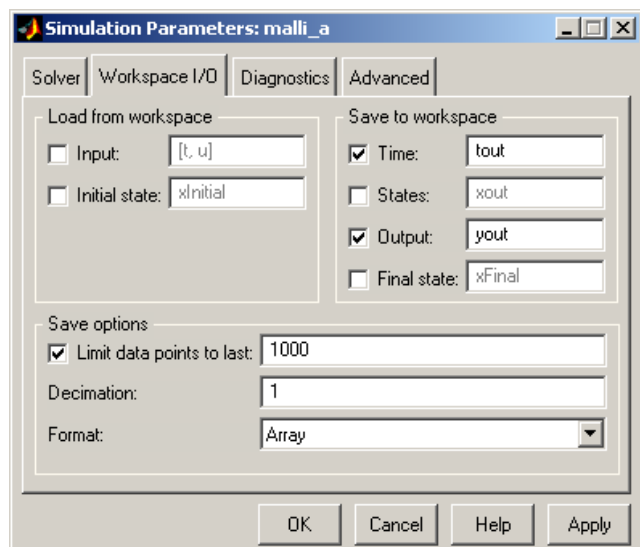
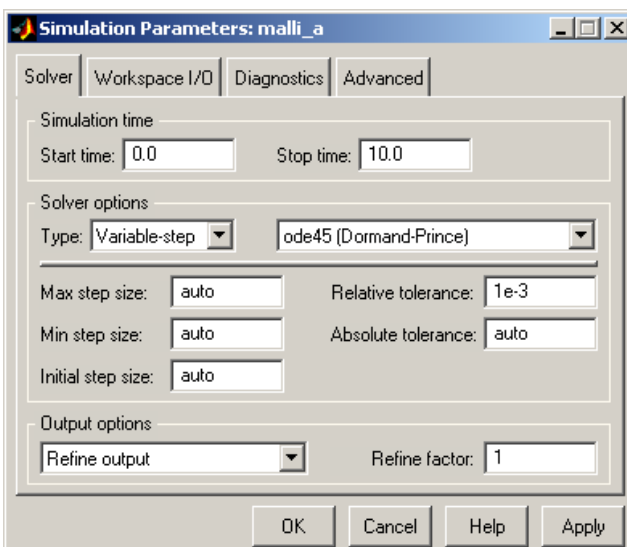


Continue simulation

Toiminnot simuloinnin aikana:

- Sallittuja operaatioita ovat mm. monien parametrien arvojen muuttaminen (esim. loppusaika ja maksimi askelpituus), ratkaisijan vaihtaminen ja sellainen lohkoparametrien muuttaminen, joka ei aiheuta muutoksia mallin rakenteessa tai näytteenottoajassa.
- Kaikki malliin rakenteeseen vaikuttavat muutokset ovat kiellettyjä, kuten esimerkiksi lohkojen ja signaaliviivojen lisääminen malliin tai niiden poistaminen mallista.
- Tietyllä signaaliviivalla kulkevaa signaalia voi tarkastella kelluvassa Scope tai Display lohkoissa klikkaamalla viivaa simuloinnin aikana.

Simulointiparametrien asettaminen: Parametrit annetaan valikkokomennolla Simulation > Simulation parameters avautuvassa ikkunassa. Simulation parameters ikkunassa on neljä välilehteä Solver, Workspace I/O, Diagnostics ja Advanced.



Solver välilehti:

- Alueessa Simulation time annetaan simuloinnin kesto aika (Start time ja Stop time).
- Alueessa Solver options valitaan ratkaisijan tyyppi ja ratkaisija (Type) sekä sen parametrit. Ratkaisijoita on kahta perustyyppiä, muuttuva-askelinen (Variable-step) ja kiinteäaskelinen (Fixed-step). Muuttuva-askelisen ratkaisijan aika-askeleen pituus voi vaihdella ratkaisun aikana, mutta kiinteäaskelisen ratkaisijan askelpituus on sama koko simuloinnin ajan. Kummankin perustyyppin ratkaisijoita on tarjolla useita vaihtoehtoja. Parhaiten soveltuva ratkaisija riippuu suuresti systeemiä kuvaavien yhtälöiden luonteesta. Oletusratkaisijat ovat ode45, kun malli tai sen osa on jatkuva-aikainen ja discrete, kun malli on kokonaan diskreettiaikainen. Oletusratkaisijoita voidaan yleensä käyttää hyvällä menestyksellä tiettyjä erityistapauksia lukuun ottamatta. Ratkaisijoiden parametreina ovat askelpituuksien arvot (Max step size, Min step size, Initial step size) ja ratkaisun tarkkuustoleranssit (Relative tolerance, Absolute tolerance). Yleensä parametrien oletusarvot toimivat kohtuullisen hyvin, mutta toisinaan ratkaisun tarkkuutta tai tehokkuutta voi parantaa muuttamalla parametreja sopivasti.
- Alueessa Output options voidaan vaikuttaa simuloinnin antamien tulosten määrään. Tulostus tulee normaalisti kultakin laskennan aika-askeleelta, mutta lisätulostusta saadaan aikaan valinnoilla Refine output (Refine factor>1) tai Produce additional output (Output times MATLAB-lausekkeena). Tulostusta saa vähennettyä valinnalla Produce specific output only (Output times MATLAB-lausekkeena).

Workspace I/O välilehti:

- Alueen Load from workspace avulla voidaan systeemin sisäänmenot (Input) ja tilojen alkuarvot (Initial state) lukea MATLABin muuttuja-avaruudesta. Järjestelmän sisäänmenojen on tällöin tapahduttava In1 lohkoja käyttäen.
- Alueen Save to workspace avulla voidaan systeemin näytteenottoajat (Time), tilat (States), ulostulot (Output) ja tilojen loppuarvot (Final states) tallentaa MATLABin muuttuja-avaruuteen. Järjestelmän ulostulojen on tällöin tapahduttava Out1 lohkoja käyttäen.
- Alueessa Save options voidaan rajoittaa tallennettavan tiedon määrää (Limit data points to last ja Decimation) ja antaa luettavan tai tallennettavan datan tietotyyppi. Vaihtoehdot ovat taulukko (Array) tai tietue (Structure ja Structure with time).

Diagnostics välilehti: Consistency Checking ja Bounds Checking ovat lähinnä mallin testausvaiheessa käytettäviä debuggaustyökaluja. Niiden päällä olo hidastaa laskentaa selvästi. Kohdassa Configuratin options voidaan vaikuttaa Simulinkin ongelmatilanteissa antamiin varoituksiin ja virheilmoituksiin.

Advanced välilehti: Sisältää valintoja, joilla voidaan vaikuttaa simuloinnin tehokkuuteen. Välilehden käyttö vaatii Simulinkin toimintaperiaatteiden perusteellista hallintaa.

9 Tulosten analysointi

Simuloinnin tuloksina saatavia lohkojen ulostulosignaaleja voidaan tallentaa MATLABin muuttuja-avaruuteen ja esittää graafisesti kolmella tavalla.

Graafisten lohkojen käyttö: Signaali voidaan ohjata Sinks kirjastossa oleviin lohkoihin Scope tai XY Graph, jolloin on mahdollista tarkastella signaalia myös simuloinnin aikana. Yhteen Scope lohkoon voidaan ohjata useita signaaleja ja lohkolle on työkalurivi, jonka

painikkeilla voi esim. tulostaa ja zoomata piirrettyjä käyriä. XY Graph lohkolla voidaan piirtää yksi signaali jonkun toisen signaalin funktiona. Tämä lohko piirtää käyrän MATLABin kuvaikkunaan, jossa ei ole tavanomaista työkaluriviä, eikä saatua käyrää voi näin ollen mitenkään jatkokäsitellä.

Ulostulosignaalin käyttö: Signaali voidaan tallentaa MATLABin muuttuja-avaruuteen ulostulosignaalina Out1 lohkoja ja Simulation parameters ikkunan välilehteä Workspace I/O käyttäen. Tallennetusta datasta voidaan sitten laatia graafisia esityksiä MATLABin grafiikkatyökaluilla.

To Workspace lohkon käyttö: Signaali voidaan tallentaa MATLABin muuttuja-avaruuteen myös ohjaamalla se To Workspace lohkon. Vastaava aikaisignaali saadaan tallennettua muuttuja-avaruuteen ohjaamalla Clock lohkon ulostulosignaali To Workspace lohkon tai käyttämällä Simulation parameters ikkunan välilehteä Workspace I/O. To Workspace lohkon sisäänmeno voi olla taulukko (Array) tai tietue (Structure ja Structure with time).