

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikka

Arto Pelli

GigE-kamerat ja -verkko konenäössä

Insinööriyö 23.9.2008

Ohjaaja: tuotepäällikkö Rainer Huttunen
Ohjaava opettaja: yliopettaja Jouni Jokelainen

Tekijä	Arto Pelli
Otsikko	GigE-kamerat ja -verkko konenäössä
Sivumäärä	48 sivua
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Ohjaaja	tuotepäällikkö Rainer Huttunen
Ohjaava opettaja	yliopettaja Jouni Jokelainen
<p>Insinööriyön aiheena oli Gigabit Ethernetiin liitettävät kamerat ja Gigabit Ethernet -verkko. Työn tavoitteena oli saada tietoa, miten kameroiden liittäminen verkkoon onnistuu ja minkälaisia rajoituksia verkolla on. Työssä testattiin kytkimiä, verkkokortteja, filteriajureita, kameroita, kaapeleita ja ethernet-paketin kokoa.</p> <p>Työssä saatujen tulosten perusteella voitiin kyseenalaistaa jumbo framen hyöty GigE-kameraverkossa. Työssä saatiin hyviä kokemuksia ja tietoja GigE-kameraverkon suunnittelua varten. GigE-kameraverkon suunnittelu on aloitettava määrittämällä kameroilta tarvittava kuvadatan määrä. Tämä kuvadatan määrä määrittelee kaikki muut verkossa tarvittavat komponentit. Gigabit Ethernet -kameraverkko on muistettava pitää erillään muista ethernet-verkoista, koska muut laitteet saattavat häiritä kameraliikennettä.</p> <p>Työssä saatujen tuloksien perusteella todettiin, että käytettäessä PCI Express -väylään sopivia verkkokortteja päästään suurempiin datanopeuksiin. Filteriajurina kannattaa käyttää Optimal-ajureita, koska niillä prosessorin käyttö on pienempää. Suurimman pettymyksen tässä työssä aiheutti Intelin neliporttisen verkkokortin suorituskyky.</p>	
Hakusanat	GigE Vision, konenäkö, Gigabit Ethernet, kamera

Author	Arto Pelli
Title	GigE cameras and network in machine vision
Number of Pages	48
Date	23 September 2008
Degree Programme	Automation Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor	Rainer Huttunen, Product Manager
Supervisor	Jouni Jokelainen, Principal Lecturer
<p>The topic of the final year project was Gigabit Ethernet cameras and the Gigabit Ethernet network. The goals were to study how to connect cameras to the network and to find out what the limits of the network are. Switches, cameras, network cards, filter drivers, cables, size of the Ethernet packet were tested in the project.</p> <p>The results of the project challenge the benefits of the jumbo frame in GigE camera networks. In addition, the project gave valuable experience and data for planning GigE camera networks. The design of a camera network must start from defining the rate of the picture data. The Maximum picture data determine all other network components. The GigE camera network has to kept as a separate network, because other network devices like printers could disturb picture data communication.</p> <p>The results of the project also show that higher communication speeds can be reached by using PCI Express network cards. An optimal filter driver should be used because it takes up less processor capacity. The performance of Intel's four port network card was not as good as expected.</p>	
Keywords	GigE vision, camera, Gigabit Ethernet, machine vision

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	6
2	Gigabit Ethernet -kamerat	7
2.1	GigE Vision -standardi	7
2.2	GigE Visionin hyödyt	9
2.3	GigE Visionin ongelmat	11
2.4	GigE Vision -verkkorakenne	11
2.5	Pleora	13
2.6	GenICam	13
2.7	GigE-kameroiden ominaisuudet	15
3	Gigabit Ethernet	16
3.1	Gigabit Ethernet -tiedonsiirto	16
3.2	Verkon analysointi	17
3.3	Teollisuuskytkimet	19
3.4	IGMP Snooping	20
3.4.1	Verkko ilman IGMP snooping -toimintoa	21
3.4.2	Verkko IGMP snooping -toiminnolla	22
3.5	Saatavilla olevat GigE-tuotteet	23
3.6	Gigabit Ethernet tulevaisuudessa	23
4	GigE-kameroiden liittäminen GigE-verkkoon	24
4.1	Kameran liittäminen tietokoneeseen	24
4.2	Kameran hallinta tietokoneella	24
4.3	Useamman kameran liittäminen toimivaksi järjestelmäksi	26
4.4	Filtteriajuri	27
4.4.1	eBUS Optimal -ajuri	28
4.4.2	eBUS Universal -ajuri	28
4.5	Kuvanlähetystavat kameralta	29
4.5.1	Unicast	29
4.5.2	Multicast	29
4.5.3	Multi-Unicast	30
5	Gigabit Ethernet -kameraverkon testaus	31
5.1	Testilaitteisto	31
5.1.1	Tietokone ja ohjelmisto	31
5.1.2	Kamera	31
5.1.3	Kytkimet	32
5.1.4	Verkkokortti	32
5.2	Kuvadatan osuus koko liikenteestä	33
5.3	Verkkokortin suorituskyky	34
5.4	Pakettikoon vaikutus nopeuteen	35
5.5	Lähetysparametrien vaikutus liikenteeseen	37
5.6	Kaapelin pituuden vaikutus nopeuteen	37
5.7	Filtteriajurin vaikutus	39

6	GigE-kamerajärjestelmät teollisuudessa	40
6.1	Nykytilanne teollisuudessa	40
6.2	GigE-tekniikan tuomat edut ja haitat teollisuudelle	41
6.2.1	Edut	41
6.2.2	Haitat	41
6.3	Gigabit Ethernet -kameraverkon suunnittelu	41
6.4	Tulevaisuuden mahdollisuudet	42
7	Yhteenveto	43
7.1	Työn tulokset	43
7.2	Pakettikoko	43
7.3	Kytkin	43
7.4	Tietokone	44
7.5	Kaapelit	44
7.6	Gigabit Ethernet -kameraverkon suunnittelu	44
7.7	Verkkokortti	44
7.8	Filtterijuri	45
7.9	Gigabit Ethernet	45
7.10	Työn jatkaminen	45
	Lähteet	47

1 Johdanto

Tämä työ tehdään Metric Industrial OY:lle. Yhtiö on 1960-luvulla perustettu teknisten tuotteiden maahantuontiyritys, joka markkinoi ja myy automaatiokomponentteja sekä mittaus- ja testauslaitteita pohjoismaiselle automaatio-, elektroniikka- ja tietoliikenneteollisuudelle. (1)

Metric haluaa tietoa GigE-kameroiden sekä GigE-verkon toiminnasta. Millaisia mahdollisuuksia olisi toteuttaa isompia GigE kamerajärjestelmiä, ja mitä järjestelmän toteuttaminen vaatisi? Nämä tiedot helpottaisivat GigE-kameroiden myyntiä.

Tässä työssä on tarkoituksena tutustua Gigabit Ethernetiin ja Gigabit Ethernet-kameroihin. Työssä on käydään läpi teoriaa, joka liittyy työn aiheisiin. Teorian tietämys on välttämätöntä, jotta osaataan tehdä oikeanlaisia testejä sekä ymmärtää verkon toimintaa. Lisäksi on tarkoituksena tehdä testejä, jotka selventäisivät ja antaisivat vastauksia haettaviin asioihin.

Työn tavoitteena on saada vastauksia ainakin seuraaviin kysymyksiin:

- Miten kameroiden kytkentä verkkoon onnistuu?
- Millaisia rajoituksia verkolla on?
- Miten hallittavat ja ei-hallittavat kytkimet eroavat?
- Miten kamerat kannattaa kytkeä, jotta saadaan mahdollisimman tehokas verkko?
- Millaisia verkkokortteja kannattaa käyttää?
- Mitä eroja filteriajureilla on?
- Tuoko jumbo framen käyttö etuja?
- Mitä tietoja pitää olla, kun lähdetään suunnittelemaan GigE-kameraverkkoa?
- Mitä hyötyä tai haittaa GigE tuo?

Alkutilanne työlle oli vaikea, koska tietoa laitteiden käyttäytymisestä ei ollut. Työn alussa oli lähes mahdoton rajata tarkasti työn aluetta. Työn tulosten perusteella pyrittiin ohjailemaan työn aihealueita. Jos tulokset vaikuttivat mielenkiintoisilta, pyrittiin tarkentamaan ja testaamaan lisää mielenkiintoisen aiheen alueita.

2 Gigabit Ethernet -kamerat

2.1 GigE Vision -standardi

GigE Vision on AIA:n kehittämä standardi. AIA on vuonna 1984 perustettu yhdistys, johon kuuluu yli 250 jäsenyritystä 24 eri maasta. Yritykset edustavat konenäköteollisuutta. AIA toimii myös aktiivisesti koulutuksessa, standardeissa, johtamisessa ja markkinoinnin kehittämässä. Kuvassa 1 on GigE Vision -standardin logo. (2)



Kuva 1. GigE Vision -standardin logo.

GigE Vision on tarkoitettu avoimeen kuvadatan siirtoon ja signaalien kontrollointiin kameran ja PC:n välillä Gigabit Ethernet -verkossa. GigE Vision on pyritty suunnittelemaan niin, että se sopii useille eri ratkaisuille. Standardin avulla tuotteiden kehittäjillä on valmis suunta, johon he kehittävät omia tuotteita. Lisäksi konenäkösuunnittelijoilla olisi enemmän mahdollisuuksia valita tuote, jota he käyttäisivät. (3)

GigE Vision versio 1.0 on ratifioitu maaliskuussa 2006. Standardi sisältää neljä pääelementtiä:

- Laitteiden havaitseminen määrittää, kuinka laitteelle annetaan IP-osoite ja kuinka se on määritetty verkossa.
- GVCP (GigE Vision Control Protocol) määrittää, kuinka hallitaan ja kontrolloidaan kameraa.

- GVSP (GigE Vision Stream Protocol) määrittää, kuinka kuva pakataan, ja tarjoaa mekanismin kuvadatan ja muun informaation lähettämiseen tietokoneelle.
 - XML (extensible mark-up language) on tiedosto, joka tarjoaa tietokoneella luettavan datatiedoston laitteesta. Tiedoston pitää perustua EMVA:n (European Machine Vision Association) GenICam™-standardiin. Tiedosto pitää sisältää seitsemän ominaisuutta, jotka on lueteltu taulukossa 1. Lisäksi tiedosto sisältää muita tietoja, mm. kameran IP-osoitteen, sarjanumeron, valmistajan tiedot jne.
- (2)

Taulukko 1: XM- tiedoston sisältämät ominaisuudet [2].

Ominaisuus	Kuvaus
Width	Kuvan leveys
Height	Kuvan korkeus
PixelFormat	Pikselin muoto, joka on määritetty GVSP:ssä
PayloadSize	Bittien määrä jokaista siirrettyä kuvaa kohden siirtotiellä
AcquistionMode	Tapa, missä järjestyksessä kameran tulevat kuvat ovat.
AcquistionStart	Käynnistää kuvan keruun määritetyssä tilassa
AcquistionStop	Lopettaa kuvan keruun määritetyssä tilassa

Lisäyksenä edellä mainittuihin neljään pääelementtiin GigE Vision -standardi sisältää nimeämistavat kameran muille ominaisuuksille (2).

Mukautuminen GigE Vision -standardiin tarkoittaa vain, että tuote seuraa tiettyä liitettävyyystapaa. Kuuluminen GigE Vision -standardiin ei ole tehokkuuden takuu. Mukautuminen ei myöskään tarkoita sitä, että tuote toimii tasaisesti, kuljettaa tämän reaaliaikaista dataa tai noudattaa täydellisesti ajoitettuja synkronisointivaatimuksia monikamerasovelluksissa. Kuten monissa muissa konenäkötuotteissa, myös GigE Vision -kameroiden ja PC-ohjelmien täytyy perustua luotettavaan ja laadukkaaseen toteutukseen. (2)

2.2 GigE Visionin hyödyt

Ethernet-teknologian päälle rakennettu GigE Vision -standardi vastaa konenäköteollisuuden tarpeisiin. Standardia ethernet-laitteistoa, arkkitehtuuria ja verkkorakennetta käytetään hyväksi GigE Vision -järjestelmissä. GigE Vision hyödyntää laajasti teollisuus- ja kuluttajamarkkinoita. Oikeat komponentit ovat valmiiksi saatavissa alhaiseen hintaan ja valmiita asennettavaksi tietokoneisiin. Systemin kokonaishinta on saatu alhaisemmaksi poistamalla kuvankaappauskorttien tarve, jotka ovat pakollisia analogisessa ja Camera Link -teknologiassa. Taulukossa 2 on lueteltu eri kuvadatan tiedonsiirtotekniikoiden ominaisuuksia. (4, s. 1)

Taulukko 2. Kuvadatan siirrossa käytettyjä tekniikoita [3, s. 8; 10].

	GigE Vision	IEEE 1394a (FireWire)	IEEE 1394b (FireWire)	Camera Link
Kaapelin pituus	100 m (riippuu datan määrästä)	10 m (72 m toistimilla) (Standardi: 4,5 m)	10 m (72 m toistimilla) (Standardi: 4,5 m)	<15 m (riippuu kaistan leveydestä)
Kaistanleveys	100 MB/s	32 MB/s (DCAM)	64 MB/s (DCAM)	255 MB/s
Bittinopeus	1000 Mbit/s	400 Mbit/s	800 Mbit/s	>2000 Mbit/s
Standardi	GigE Vision standardi	IEEE 1394 Trade Associatio DCAM standardi	IEEE 1394 Trade Associatio DCAM standardi	AIA Camera Link - standardi
liitäntä	Gigabit Ethernet liitäntä	IEEE 1394a liitäntä	IEEE 1394b liitäntä	Kuvankaappaus- kortti
Kameroiden maksimi määrä	Rajaton	16	16	2/kuvankaappaus- kortti
Liitä ja käytä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei
Kaapeli	Teollisuus ja kuluttaja	Teollisuus ja kuluttaja	Teollisuus ja kuluttaja	Teollisuus

Suurimmalla osalla datansiirtotekniikoista on rajattu kaapelin pituus. Firewiren maksimipituus on 72 metriä, jonka saavuttamiseen tarvitaan useita toistimia tai kytkimiä. Toistimet ja kytkimet lisäävät tehon kulutusta, kaapeleiden määrää ja mahdollisuutta elektromagneettisille häiriöille. Camera Link - ja USB 2 -kaapeliin maksimipituudet ovat huomattavasti lyhyemmät. GigE Visionilla on suurena etuna kaapelin pituus, koska sillä päästään kaapelin pituuksissa 100 metriin ilman toistimia tai kytkimiä. (3, s. 1)

Tähän asti Ethernetiin (10 Mbit/s) ja nopeaan Ethernetiin (100 Mbit/s) perustuvan tekniikan kaistanleveys on ollut liian pieni. Nämä nopeudet eivät riitä siirtämään pakkaamatonta kuvaa nopeuksilla, joita vaaditaan konenäkösovelluksissa. Gigabit Ethernetin (1000 Mbit/s) kaistanleveys riittää yleisimpien kameramallien kuvan siirtoon. Gigabit Ethernetissä on potentiaalia vielä suurempiin kaistanleveyksiin, kun tulevaisuudessa otetaan käyttöön 10 Gigabit Ethernet. (3, s. 1; 10)

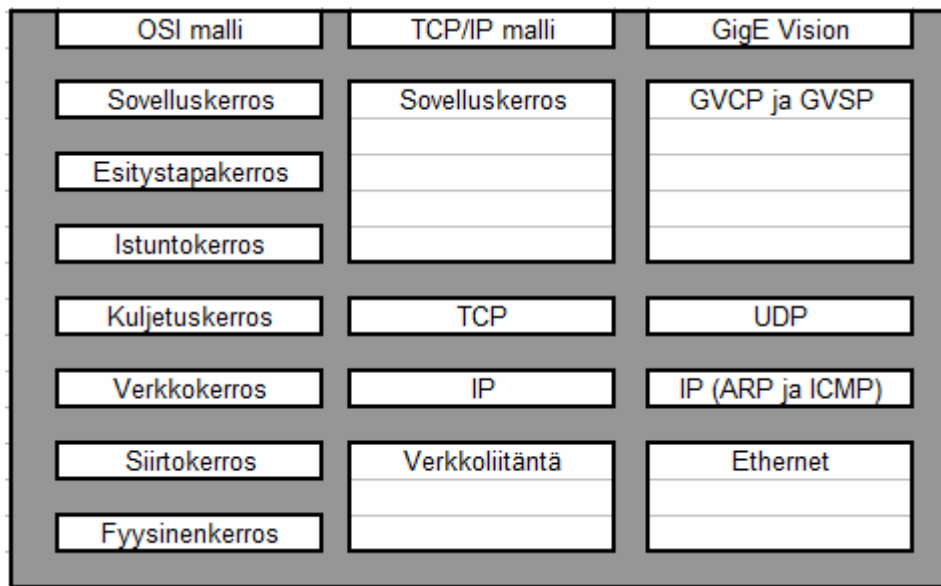
2.3 GigE Visionin ongelmat

Gigabit Ethernetin käytöstä teollisuudessa on vielä vähän kokemuksia ja tietoa. Tämä saattaa osittain vaikuttaa siihen, että valitaankin cameralink- tai firewire-kameroita. Suurimpana puutteena ovat verkkokortit, jotka olisi suunniteltu suurille datamäärille. Isoille sovelluksille pitäisi olla ainakin neliporttinen Gigabit Ethernet -verkkokortti, joka pystyy vastaanottamaan 4 Gbit/s.

Gigabit Ethernetin reaaliaikaisuuden voi myös asettaa kyseenalaiseksi. Gigabit Ethernetin ongelmana verrattuna Camera Linkiin on kuvan pakkaus ethernet-paketeiksi. Tämä ethernet-paketin pakkaus ja purkaus johtavat siihen, että reaaliaikaisuus ei riitä nopeimmissa sovelluksissa.

2.4 GigE Vision -verkkorakenne

Koska GigE Vision perustuu ethernet-protokollaan, sillä on joitakin samanlaisuuksia ethernet-verkkorakenteen kanssa. Paras tapa kuvata GigE Vision -rakennetta on verrata sitä TCP/IP- ja OSI-mallin kanssa. Nämä rakenteet ovat kuvattu vierekkäin kuvassa 2. (3, s. 2)



Kuva 2. GigE Visionin rakenne verrattuna yleiseen OSI-malliin ja TCP/IP-malliin [3, s. 2].

TCP on kehitetty varmaan ja turvalliseen tiedon siirtoon. Se estää verkon ylikuormituksen ja automaattisesti huomaa kadonneen tiedon ja korjaa sen. TCP-protokollassa vastaanottaja lähettää kiittauksen vastaanotetusta tietopakettista. Jos vastausta ei tule lähettäjälle, lähettäjä lähettää paketin uudelleen. Tämä tekee TCP/IP:stä hyvän protokollan worldwide web:lle ja sähköpostille, mutta ei konenäkösovelluksille. (5)

GigE Vision perustuu UDP-protokollaan. UDP-protokollassa vastaanottaja ei lähetä kiittauksia lähettäjälle. Lähettävällä laitteella ei ole tietoa pakettien perille pääsystä. Tämä tekee UDP:stä epävarmemman kuin TCP:stä, mutta se lisää tehokkuutta, joka on elintärkeää konenäkösovelluksissa. UDP-tiedonsiirto sopii sovelluksiin, jossa vanhalle tiedolle ei ole mitään käyttöä. Esim. konenäkösovelluksissa ei useimmiten tehdä edellisillä kuvilla mitään. (5)

2.5 Pleora

Pleora Technologies on johtava Gigabit Ethernet -ratkaisujen toimittaja mm. kone-
näössä. Yhtiön ovat perustaneet George Chamberlain ja Alain Rivard vuonna 2000. (6)

Pleora tarjoaa suuren määrän laite- ja ohjelmistotuotteita Gigabit Ethernet -verkkoon.
Suuri osa GigE-kameravalmistajista käyttää Pleoran GigE-liityntäkorttia omissa
kameroissaan. Kortin avulla kuvadata muutetaan ethernet-paketeiksi tietokoneelle
siirtoa varten. GigE-kameroissa käytössä oleva Pleoran liityntäkortti on kuvassa 3. (6)



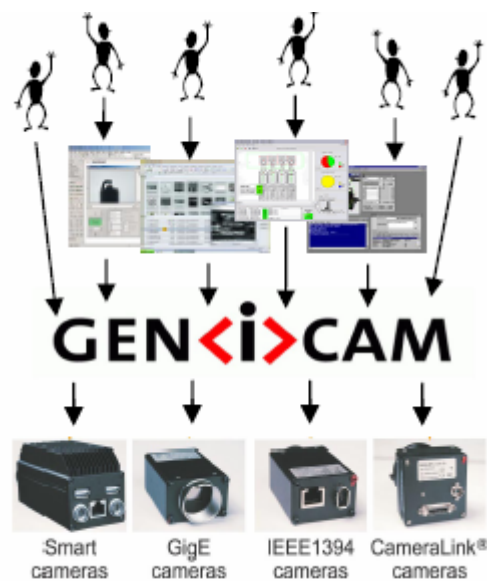
Kuva 3. Pleoran iPORT™ PT1000-VB -kortti [7].

Pleoran iPORT PT1000-VB IP Engine -kortti on nopea ja sen avulla on helppo tehdä
GigE-liityntä lähes mihin tahansa teollisuuskameraan. Korttia käytetään yli sadassa
GigE-kameramallissa. PT1000-VB on optimoitu kamerakäyttöön. Kortti on pieni
neliönmuotoinen, sen tehonkulutus on vain 2,25 W, ja kortissa on tehonsyöttö, I/O ja
GigE-liitäntä. (7)

2.6 GenICam

Nykyiset digitaalikamerat sisältävät useita eri toimintoja kuvan siirron lisäksi. Kuvan
käsittely ja tuloksien lisäys kuvan tietoon, ulkoisten laitteiden kontrollointi ja
reaaliaikaisen sovelluksen suorittaminen ovat osa nykypäivän konenäkökameraa.
Liittymän ohjelmointi kameralle on tullut yhä monimutkaisemmaksi. GenICamin ideana
on tarjota geneerinen ohjelmointiliittymä kaikenlaisille kameroille. Kameroiden mallilla
ja ominaisuuksilla ei ole merkitystä, aina voisi käyttää samaa sovelluksen
ohjelmointiliittymää APIa. (8, s.5)

GenICam toimii rajapintana kameran ja käyttäjän välillä. GenICamin avulla käyttäjä pääsee käsiksi kameran asetuksiin joko suoraan tai kuvankäsittelyohjelman avulla, kuten kuvassa 4 on esitetty. Kamera valmistaja tarjoaa XML-tiedoston, jonka avulla voidaan lukea kameran rekisteriä ja saadaan muutettua rekisterit ominaisuuksiksi. Kameravalmistaja voi valita kameran ominaisuuksille nimet 180 standardinimen joukosta. GenICam-rajapinta on keskitetty GigE-, 1394 DCAM-, Camera link- ja älykamoille. (9, s.1)



Kuva 4. GenICamin avulla käyttäjä pääsee käsiksi kameran asetuksiin millä tahansa GenICam-yhteensopivan ohjelman avulla tai ilman ohjelmaa [9, s.1].

GenICamin kolme pääteemaa ovat

- kameran konfigurointi
- kuvan kaappaus
- käyttäjäliittymän tarjoaminen (9, s.1).

GenICam koostuu kahdesta moduulista:

- GenAPI tulkitsee kameran kuvaustiedoston ja tarjoaa käyttäjälle sovelluksen kehitysohjelman.
- GenTL tarjoaa kuljetuskerroksen sekä kuvankaappauksen. (9, s.4)

2.7 GigE-kameroiden ominaisuudet

Tällä hetkellä lähes kaikilla suurilla konenäkökameravalmistajilla on omat GigE-kameramallinsa. Tässä työssä käytössä olleiden kameroiden valmistaja on Imperx. Imperx on yhdysvaltalainen yritys, joka valmistaa kameroiden lisäksi kuvankaappauskortteja sekä sovittimia. Imperxin valmistamia kameroita on käytössä mm. miehittämättömissä ilma-aluksissa, sotilaallisissa sovelluksissa ja biometrisissä sovelluksissa. (10)

Imperxin valikoimissa on tällä hetkellä GigE Vision -kameroita, joiden resoluutiot alkavat vga:sta (640x480) ja yltävät jopa 16 megapikseliin (4872x3248) asti. Vga-kamerat ovat ns. suuren nopeuden kameroita, eli kamerat ottavat parhaimmillaan yli 200 kuvaa sekunnissa. Suurresoluutioiset kamerat ottavat vain alle 10 kuvaa sekunnissa. 16 megapikselin kameralta tulee noin kolme kuvaa sekunnissa täydellä resoluutiolla.

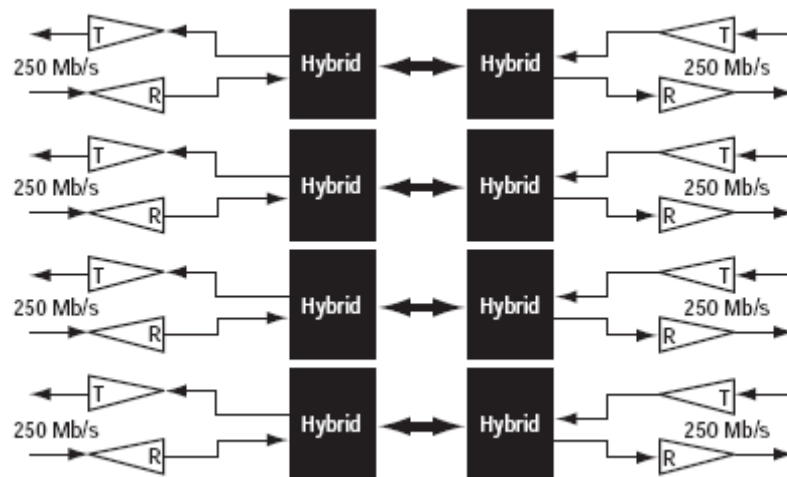
Tiedonsiirto kameran sisällä tapahtuu samalla tavalla kuin Camera Link -kameroissa, mutta ”back plane” -kortti eli GigE-kameran viimeinen kortti muuttaa tiedon ethernet-paketeiksi. Tiedon pakkaaminen ethernet-paketiksi ja uudelleen purkaminen kuvadataksi johtaa siihen, että tiedonsiirton reaaliaikaisuus ei ole aivan samaa luokkaa kuin Camera Linkillä. (11)

3 Gigabit Ethernet

3.1 Gigabit Ethernet -tiedonsiirto

Gigabit Ethernet on kehitetty 10 Mbit/s Ethernet -standardista 10BASE-T ja Fast Ethernet-standardeista 100BASE-TX ja 100BASE-FX. Tässä työssä käytetty Gigabit Ethernet -tiedonsiirto perustuu 1000BASE-T (IEEE 802.3ab) -standardiin. Tämä standardi määrittelee Gigabit Ethernet -tiedonsiirron kuparikaapelissa. Standardi IEEE 802.3ab on ratifioitu vuonna 1999. (12, s. 1)

Gigabit Ethernetissä jokainen kahdeksasta johtimesta on käytössä. Kahdeksan johdinta muodostaa neljä johdinparia, joista jokainen kuljettaa 250 Mbit/s 1000BASE-T standardissa, näin saadaan nopeudeksi 1000 Mbit/s. Tiedonsiirto tapahtuu full duplexina eli dataa voidaan siirtää molempiin suuntiin samaan aikaan. Kuvassa 5 on kuvattu 1000BASE-T:n toiminta.



Kuva 5. 1000BASE-T-tiedonsiirto [13].

Gigabit Ethernet 1000BASE-T:ssä on käytössä 5-tasoinen pulssiamplitudimodulaatio eli PAM-5. Tässä bittiyhdistelmät 00, 01, 10 ja 11 koodataan neljällä jännitetasolla ja viides taso on virheenkorjausta varten. Yhtä signaalelementtiä kohden saadaan siirrettyä kaksi bittiä. (13, s.5)

Ethernet-tiedonsiirrossa tieto siirretään paketeissa. Tällä hetkellä on mahdollista kasvattaa paketin koko ns. jumbo frameksi, jolloin paketin koko on huomattavasti suurempi kuin normaali Ethernet-paketin koko. Jos käytetään jumbo framea, pitää lähettäjän, vastaanottajan sekä siinä välissä olevien komponenttien tukea jumbo frame-ominaisuutta.

3.2 Verkon analysointi

Koska kameroilta tuleva liikenne otetaan suotimen avulla pois ennen Windowsin omaa network stackiä, tarvitaan verkon analysointiin erillinen verkkokytkenäyksikkö (Network TAP). Verkkokytkenäyksikkö tekee halutunlaisen kopion verkosta monitoriporttiin.

Työssä käytettiin VSS Monitoringin valmistamaa V 1.2 C.C-F-AF2 - 10/100/1000 1x2 Aggregation Filter Tap -laitetta, joka on kuvassa 6. Verkkokytkenäyksikkö liitettiin analysoitavaan kameraverkkoon. Monitoriporteista saadaan halutunlainen kopio verkosta suodattamalla alkuperäisestä liikenteestä pois liikenne, jota ei haluta tutkia. VSS monitoring valmistaa useita erilaisia verkkokytkenäyksiköitä erilaisilla ominaisuuksilla. Laite tekee täydellisen kopion verkon liikenteestä monitoriporttiin. Verkkokytkenäyksikkö on täysin häiriötön ja näkymätön kameraverkossa. Verkkoliikenne ei katkea vaikka laitteesta katkaistaan virta. (14)

Laitteesta löytyy useita erilaisia ominaisuuksia, joilla voidaan muokata monitoriporttiin kopioitavaa liikennettä. Laitteen asetuksia voidaan muuttaa laitteessa olevalla web-käyttöliittymällä liittämällä tietokone laitteen takana olevaan ethernet- tai sarjaväyläporttiin.

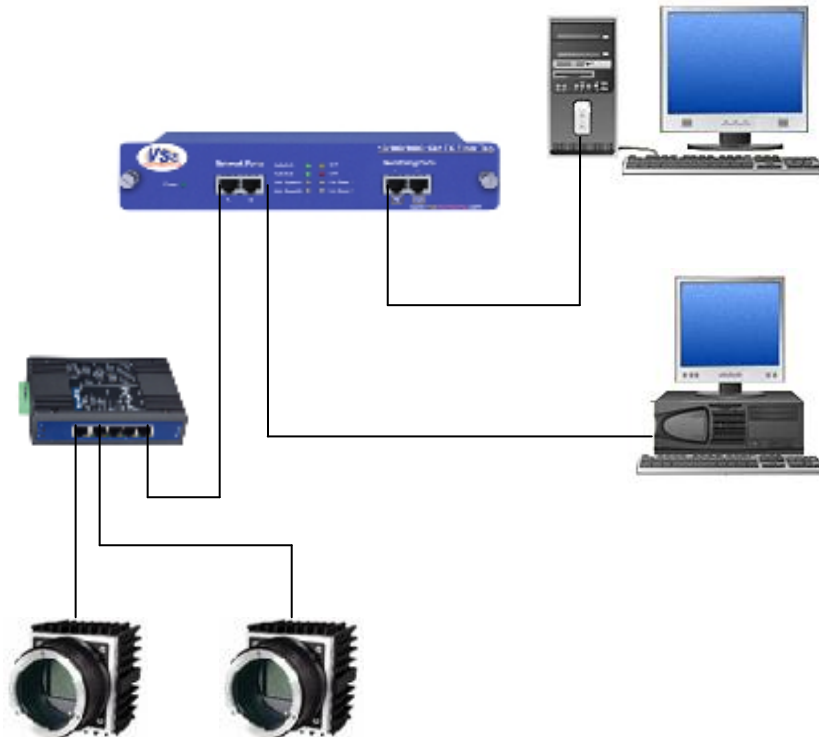


Kuva 6. VSS Monitoringin verkkokytkentäyksikkö.

Seuraavassa on lueteltu muutamia verkkokytkentäyksikön ominaisuuksia, joita käytettiin työssä:

- Yhden kameran liikenteen kopiointi monitoriporttiin. Valitaan kopioitava liikenne IP-osoitteen perusteella.
- Voidaan valita, mitkä paketit kopioidaan monitori porttiin. Työssä käytettiin ominaisuutta, jolla monitoriporttiin kopioidaan joka kymmenes paketti.

Kuvassa 7 on esimerkki kytkennästä, jollaista käytettiin työssä. Tietokone, joka oli liitetty monitoriporttiin A, sisälsi Wild Packetsin valmistaman OmniPeek-ohjelman. OmniPeekin avulla pystytään analysoimaan kaikki liikenne, mitä verkossa liikkuu. Työssä käytettyyn verkkokytkentäyksikköön on mahdollista liittää toinen tietokone monitoriporttiin B, jolloin yhdellä tietokoneella voisi seurata esim. vasemmanpuoleisen kameran liikennettä ja toisella tietokoneella oikeanpuoleisen kameran liikennettä.



Kuva 7. Verkkokytkentäyksikön liittäminen verkkoon.

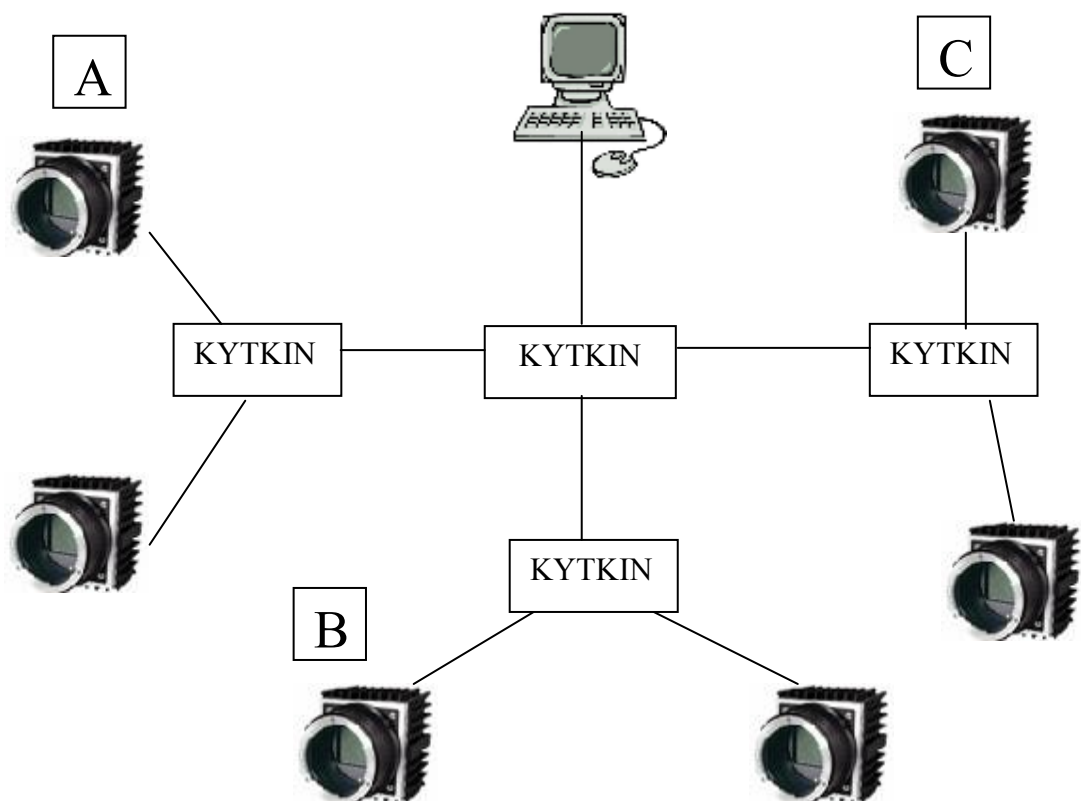
3.3 Teollisuuskytkimet

Gigabit Ethernet -kytkimet voidaan jakaa hallittaviin ja ei-hallittaviin kytkimiin. Hallittavista kytkimistä löytyy useita ominaisuuksia, jotka vaikuttavat verkon toimintaan. Näitä ominaisuuksia on mahdollista käyttäjän muokata tarpeiden mukaan. Ei-hallittavien kytkimien toimintaa ei pysty muuttamaan, ja kytkimet ovatkin paljon halvempia kuin hallittavat kytkimet. Tässä työssä todettiin, että hallittavan kytkimen käytöstä on etua ainoastaan silloin, kun lähetetään kameralta kuvaa multicast-muodossa. Tällöin tarvitaan hallittavan kytkimen IGMP snooping -ominaisuutta. Kameraverkoissa ei ole hyötyä hallittavan kytkimen muista ominaisuuksista. Työssä käytetty hallittava kytkin ei myöskään tue jumbo framea.

3.4 IGMP Snooping

IGMP tarkoittaa IP-ryhmälähetysvastaanottajien ja -lähettäjien yhdistämistä. Jokainen IP-ryhmälähetyslaite on joko vastaanottaja tai lähettäjä. Laite, joka haluaa vastaanottaa ryhmälähetysliikennettä, lähettää liittymisviestin ryhmän lähettäjälle. Kytkimet tallentavat IGMP-liittymisviestistä laitteen ryhmälähetystunnuksen sekä laitteen sijainnin ryhmälähetysseurantataulukkoon. ”IGMP snooping”- eli ”IGMP-haistelu” - tekniikan avulla kytkimet tarkkailevat liikennettä ja osaavat erottaa sieltä ryhmälähetysliikenteen. Tiedon avulla kytkin osaa välittää ryhmälähetysliikenteen oikealle kameralle. Kun kytkin saa kameralta ryhmäirtautumisviestin tai vastausaika kameralta kuluu loppuun, kytkin poistaa kyseisen kameran ryhmästä. (15)

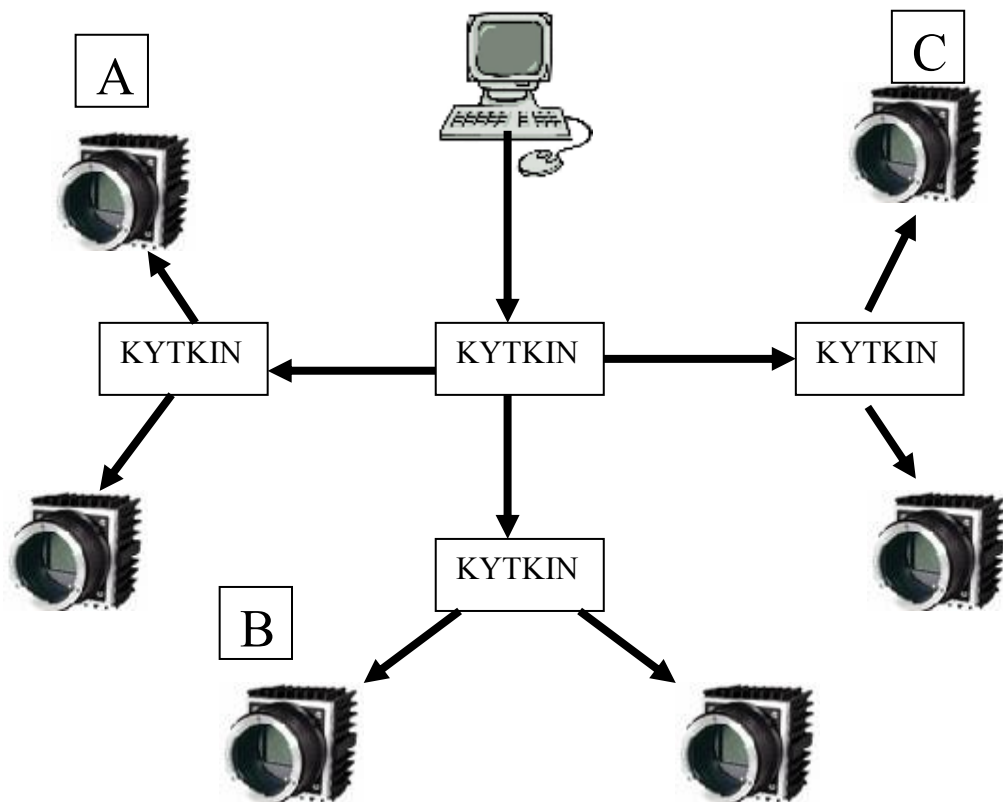
Kuvassa 8 on esimerkkutilanne, jossa neljän kytkimen avulla tietokoneeseen on liitetty kuusi GigE-kameraa.



Kuva 8. Esimerkki kamerajärjestelmästä.

3.4.1 Verkko ilman IGMP snooping -toimintoa

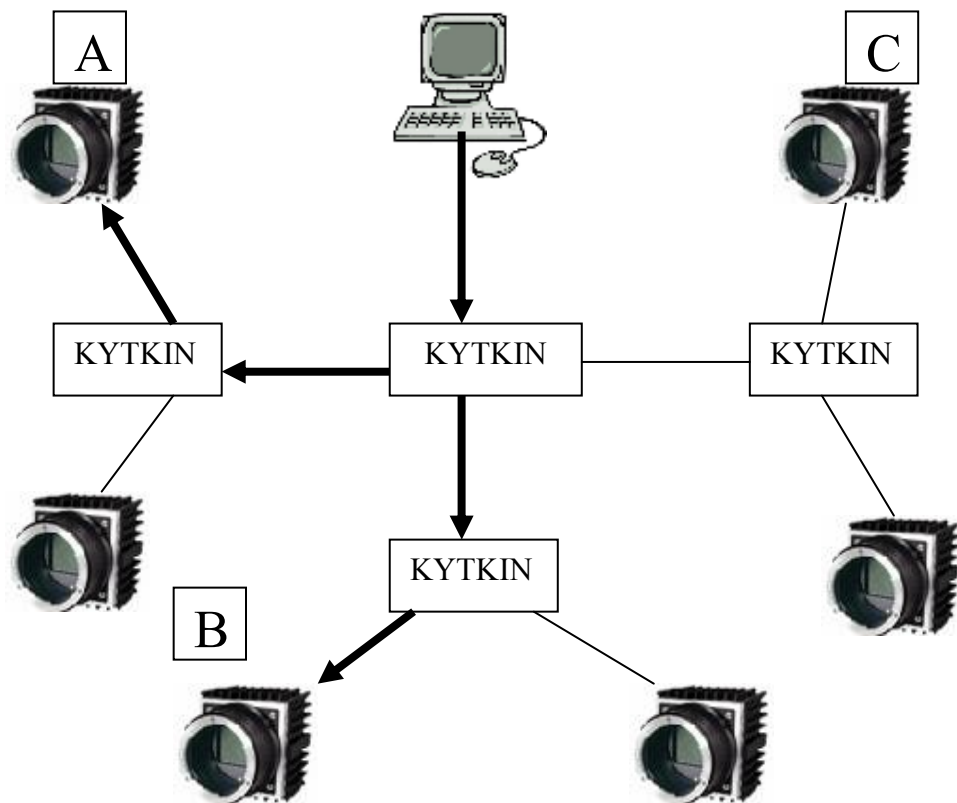
Tietokoneelta lähetetään IP-ryhmälähetysliikennettä kuvan 9 tapaan kameroille A ja B. Kamerat A ja B ovat tässä tapauksessa ilmoittautuneen ryhmälähetysten vastaanottajiksi. Kytkimet lähettävät kuitenkin viestin jokaiselle kameralle yleisenä lähetyksenä, koska kytkimillä ei ole tietoa siitä, mille kameralle se pitäisi välittää.



Kuva 9. Kamerajärjestelmässä olevilla kytkimillä ei ole IGMP snooping -toimintoa.

3.4.2 Verkko IGMP snooping -toiminnolla

Tietokoneelta lähetetään samalla tavalla ryhmälähetykset kuten kuvassa 9. Kuvassa 10 ensimmäinen kytkin välittää liikenteen niille kytkimille, mihin kamerat A ja B on kytketty. Toiset kytkimet lähettävät viestin vain kameralle, joka on ilmoittanut kuuluvansa kyseiseen ryhmälähetykselle. Tässä tilanteessa IGMP snooping -toiminnon avulla kytkimillä on tieto, mikä kamera kuuluu kyseiseen ryhmälähetykseen. Näin estetään liikenne kameroille, jotka eivät sitä tarvitse.



Kuva 10. Kamerajärjestelmä, jossa kytkimillä IGMP snooping -toiminto.

3.5 Saatavilla olevat GigE-tuotteet

Tällä hetkellä erilaisten Gigabit Ethernet -verkkotuotteiden määrä on varsin hyvä. Tämä mahdollistaa Gigabit Ethernet -verkon rakentamisen monella eri tavalla.

Gigabit Ethernet -kytkimiä löytyy usealta eri valmistajilta, ja on mahdollista käyttää hallittavia tai ei-hallittavia kytkimiä. Gigabit Ethernet -porttien määrä esimerkiksi Advantechin kytkimissä vaihtelee kahdesta kahdeksaan. Gigabit Ethernet -kytkimissä porttien määrä on vielä vähäinen verrattuna tavallisiin ethernet-kytkimiin, joissa porttien määrä voi olla esimerkiksi 48 porttia.

Tietokoneeseen liitettäviä verkkokortteja löytyy myös useita erilaisia. Verkkoporttien määrä kortilla vaihtelee yhdestä portista neljään porttiin. Kortteja löytyy useille eri tietokoneen väylille, esimerkiksi PCI sekä PCI express. Kannettaville tietokoneille löytyy myös omat verkkokortit.

Yhteydet verkkolaitteiden välille on mahdollista rakentaa joko kuparikaapelilla tai valokuidulla. Valokuitu on kalliimpi ratkaisu, mutta se tarjoaa pidemmän siirtoetäisyyden kuin kuparikaapeli.

3.6 Gigabit Ethernet tulevaisuudessa

Gigabit Ethernet tulee yleistymään kameraverkoissa tulevaisuudessa. Gigabit Ethernet on luotettava ja tarpeeksi nopea suurimpaan osaan konenäkösovelluksista. Nopeutta saadaan vielä lisää verkkoon, kun tulevaisuudessa 10 Gigabit Ethernet tulee kameroihin.

Power over Ethernet (POE) eli tehonsyöttö ethernet-kaapelissa mahdollistaisi tulevaisuudessa virransyötön kameroille. Tämä helpottaisi kameroiden asennusta, kun ei tarvitsisi viedä kameroille erillistä virran syöttöä.

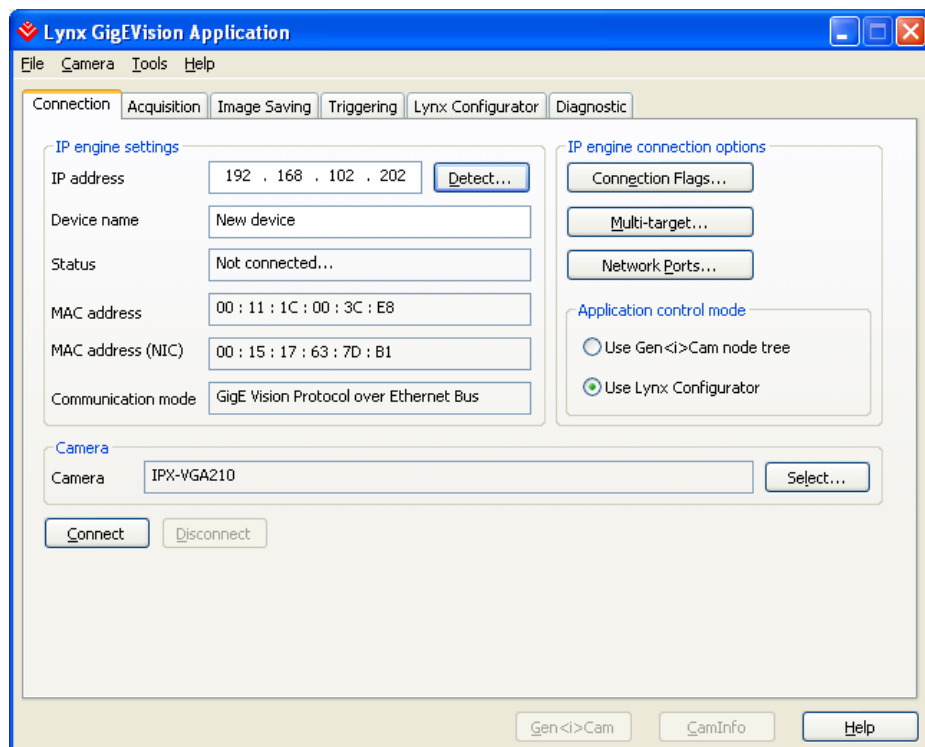
4 GigE-kameroiden liittäminen GigE-verkkoon

4.1 Kameran liittäminen tietokoneeseen

Kamera voidaan liittää suoraan tietokoneen Gigabit Ethernet -porttiin tai voidaan käyttää kytkintä kameran ja tietokoneen välillä. Jotta saadaan muutettua kameran asetuksia, on kameran IP-osoite oltava samassa verkossa kuin tietokoneen. Esimerkiksi tietokoneen IP 192.168.201.100 ja kameran IP 192.168.201.120. Imperxin Lynx GigE -ohjelma tunnistaa kameran, vaikka kameralla olisi täysin eri IP kuin tietokoneella.

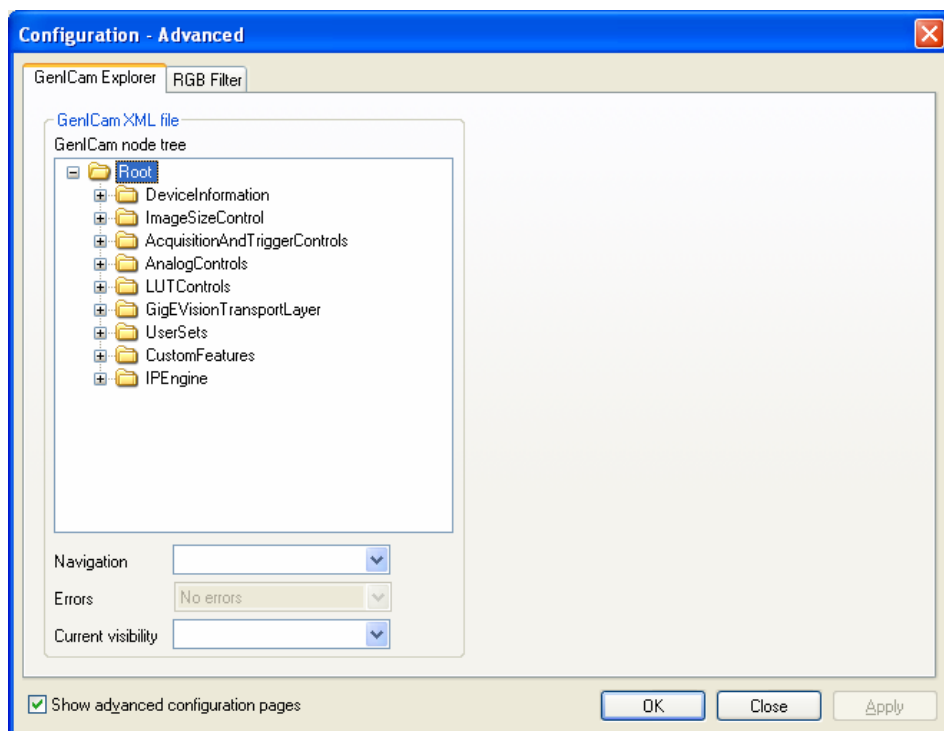
4.2 Kameran hallinta tietokoneella

Kameran hallitseminen tietokoneella onnistuu usealla eri ohjelmalla. Voidaan käyttää GenICam-yhteensopivia ohjelmia, jos kamera on GenICam-yhteensopiva. Tässä työssä käytössä on Imperxin Lynx GigEVision -ohjelma, jonka päänäkymä on kuvassa 11.



Kuva 11. Lynx GigEVision -ohjelman päänäkymä.

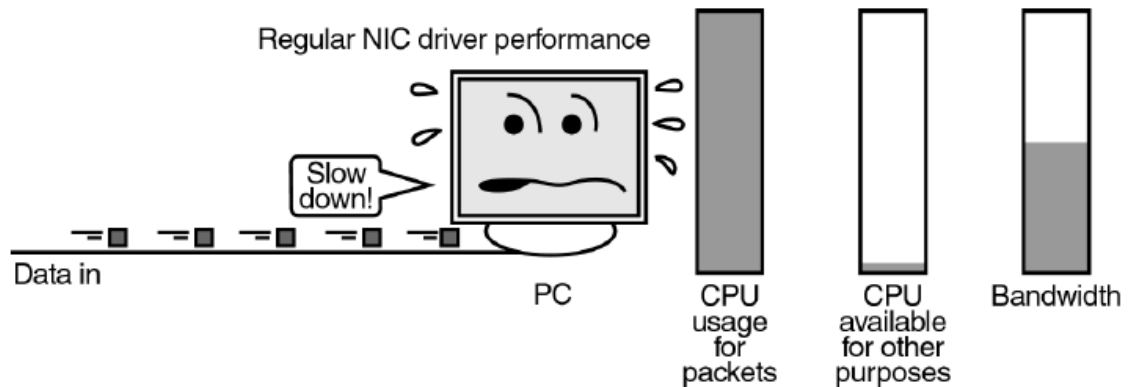
Ohjelman avulla voidaan muuttaa kaikkia kameran parametreja, tallentaa kuvaa ja katsoa kameran kuvaa. Kameran asetuksia voidaan muuttaa GenICam-muodossa tai Imperxin omalla Lynx-konfigurointitavalla. Kuvassa 12 näkyy ikkuna, josta kameran parametrien muuttaminen onnistuu GenICam-standardin mallin mukaan. Tämän GenICam-tavan käyttö kannattaa, koska silloin myös muiden kameroiden asetusten muuttaminen käy helposti samalla tavalla. Imperxin kameroiden parametrien muuttaminen onnistuu myös kuvassa 13 olevalla Lynx-konfigurointitavalla.



Kuva 12. Kameran asetukset esitetty GenICam-muodossa.

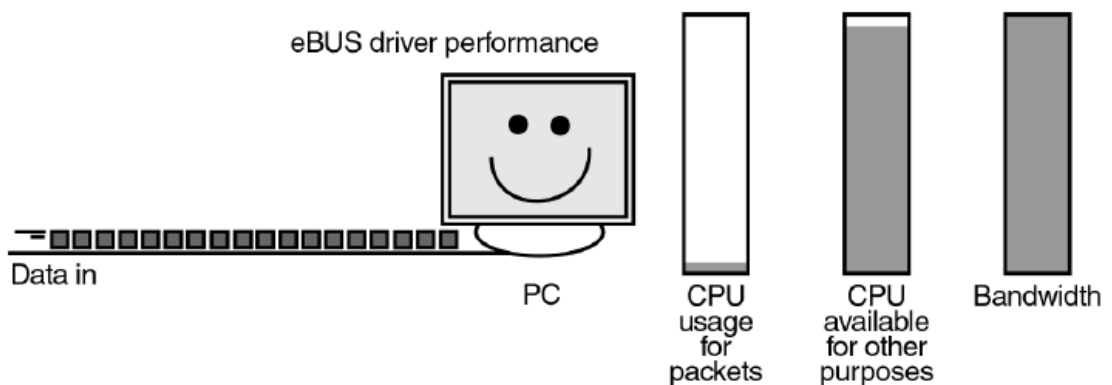
4.4 Filteriajuri

Tavalliset ajurit vastaanottavat ethernet-paketit ja siirtävät ne Windowsin network stackiin. Network stack analysoi tunnisteiden jokaiselta kerrokselta. Network stack saattaa tehdä tämän jopa satoja kertoja ennen paketin reititystä. Tilanne, jossa käytössä tavallinen verkkokorttiajuri, on esitetty kuvassa 14. (16, s.5)



Kuva 14. Käytössä tavallinen ajuri [14, s.5].

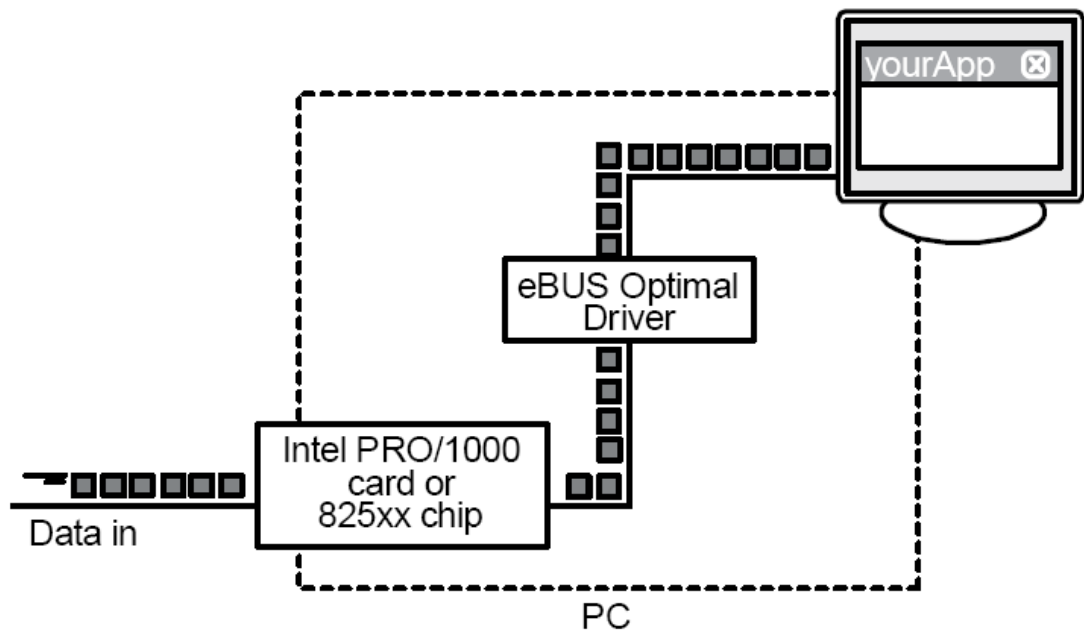
Kuvassa 15 filteriajurit, tässä tapauksessa eBUS driver, testaavat paketit sovellukselle. Jos paketti läpäisee testin, se siirretään suoraan sovelluksen käyttöön. Jos paketti ei läpäise testiä, se siirretään Windowsin network stackiin. Tällä tavalla saadaan pienennettyä huomattavasti prosessorin käyttöä. Seuraavaksi käydään läpi eBUS Universal- ja eBUS Optimal -ajuri. (16, s.5)



Kuva 15. Käytössä kameravalmistajan ajuri [16, s.5].

4.4.1 eBUS Optimal -ajuri

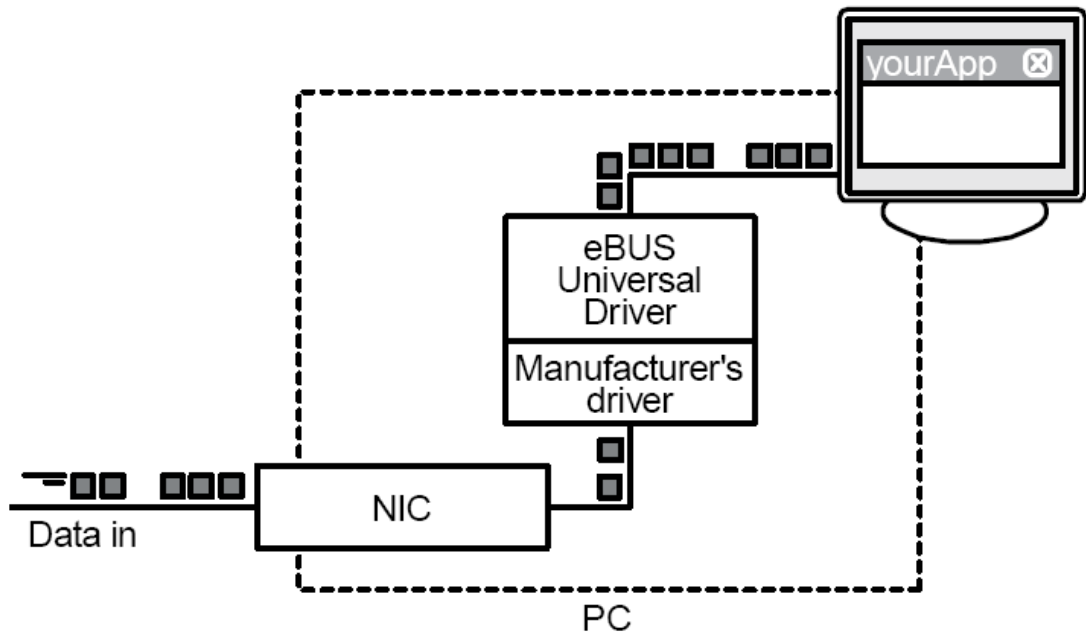
eBUS Optimal -ajuri on suunniteltu maksimoimaan datan läpipääsy ja minimoimaan prosessorin käyttö. Ajuri on ideaalinen sovelluksiin, joissa on käytössä suuri kaistanleveys ja prosessoritehoa tarvitaan muihin tehtäviin. eBUS Optimal -ajuri vaatii Intelin PRO/1000-verkkokortin tai 825xx-piirin. Kuvassa 16 on esitetty eBUS Optimal -ajurin toiminta. (16, s.6)



Kuva 16. eBUS Optimal -ajurin toiminta [16, s.7].

4.4.2 eBUS Universal -ajuri

eBUS Universal -ajurin tehokkuus on hieman huonompi kuin Optimal-ajurin. Universal-ajuri toimii kaikilla verkkokorteilla. Kuvassa 17 näkyy eBUS Universal -ajurin toiminta. (16, s.7)



Kuva 17. eBUS Universal -ajurin toiminta [16, s.8].

4.5 Kuvanlähetystavat kameralta

4.5.1 Unicast

Unicast-tilassa kamera lähettää kuvaa vain yhteen kohteeseen IP-osoitteen perusteella. Tämä tilanne on esitetty kuvassa 18.

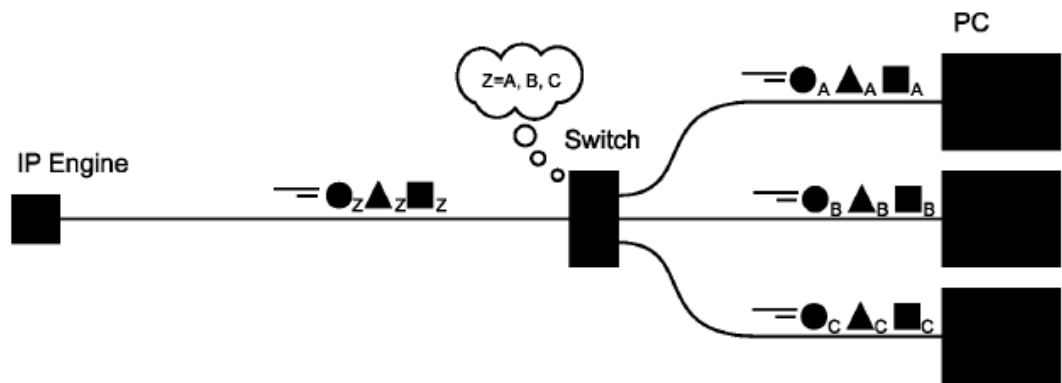


Kuva 18. Unicast-lähetys kameralta [17, s. 30].

4.5.2 Multicast

Multicast-tilassa kameralta tulevat kuvat lähetetään jokaiselle samassa multicast-ryhmässä olevalle. Multicast-lähetykset käyttävät IGMP:tä, josta on kerrottu luvun 3.4 teoriaosassa. Multicast-tilan hyödyntäminen vaatii IGMP snooping -ominaisuudella varustettua kytkintä. Multicastin avulla saadaan kameran kuvat lähetettyä useammalle tietokoneelle. Kuvassa 19 kameralta tuleva kuva lähetetään tietokoneille A, B ja C.

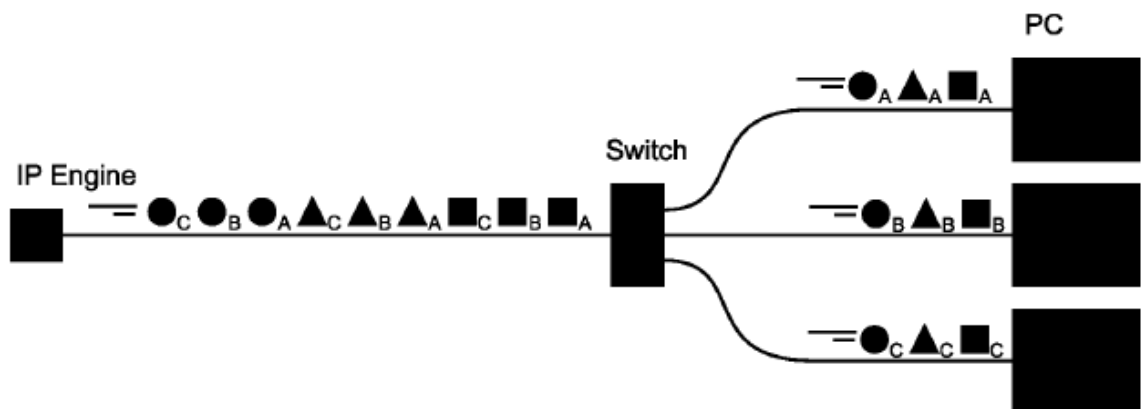
Tilanne voisi olla myös esimerkiksi sellainen, että kameralta tuleva data lähetettäisiin tietokoneille A ja C. (17, s. 30)



Kuva 19 Multicast lähetys kameralta [17, s. 31].

4.5.3 Multi-Unicast

Tämä Multi-Unicast-lähetysmuoto mahdollistaa pakettien lähetyksen tietokoneille, vaikka välissä ei ole IGMP snooping -toiminnolla olevaa kytkintä. Tämän muodon ongelmana on, että tarvitaan enemmän kaistanleveyttä. Kamera lähettää kuvan 20 tapauksessa saman kuvan kolmeen eri IP-osoitteeseen. Tässä tilanteessa tarvitaan myös kolminkertainen kaistanleveys. Multi-Unicast-muodossa kameralta on mahdollista lähettää myös yksittäinen kuva tietokoneelle, vaikka muut tietokoneet vastaanottaisivat kuvaa jatkuvasti. (17, s. 31)



Kuva 20. Multi-Unicast-lähetys kameralta [17, s. 31].

5 Gigabit Ethernet -kameraverkon testaus

5.1 Testilaitteisto

5.1.1 Tietokone ja ohjelmisto

Tietokoneena käytetään HP compaqia, jossa on Intelin pentium D 3,4 GHz prosessori sekä Windows XP -käyttöjärjestelmä. Kameran hallintaan sekä tulosten saamiseen käytetään Imperxin kameran mukana tulevaa Lynx GigE Vision -ohjelmaa.

5.1.2 Kamera

Työssä käytetään kuvassa 21 olevaa Imperxin valmistamia GigE-harmaasävykamaroita. Kameran malli on IPX-VGA210-G, jonka resoluutio 640×480 (VGA) pikseliä. Kameralla saadaan otettua 210 kuvaa sekunnissa. Imperx käyttää tässä kamerassa Kodakin valmistamia kennoja. Kamera on GenICam-yhteensopiva, eli kameran asetuksia pystytään muuttamaan kaikilla GenICam-yhteensopivilla ohjelmilla.



Kuva 21. Imperxin IPX-VGA210-G GigE –kamera.

5.1.3 Kytkimet

Työssä käytetään hallittavaa Advantechin EKI-7758F-kytkintä, joka on kuvassa 22 oikealla. Ei-hallittavana kytkimenä on Advantechin EKI-2725, joka on kuvassa 22 vasemmalla.



Kuva 22. Vasemmalla ei-hallittava ja oikealla hallittava kytkin.

5.1.4 Verkkokortti

Verkkokorttina käytetään kuvassa 23 olevaa Intelin neliporttista PRO/1000-verkkokorttia.



Kuva 23. Intelin neliporttinen PRO/1000-verkkokortti.

5.2 Kuvadatan osuus koko liikenteestä

Tarkoituksena on määrittää, kuinka suuri osa koko liikenteestä on kuvadataa ja kuinka se vaihtelee, kun käytetään eri pakettikokoa. Määrittämiseen tarvitaan OmniPeek-ohjelmaa sekä verkkokytkenäyksikköä. Tässä testissä käytetään vain yhtä VGA210-kameraa, jonka lähettämää pakettikokoa muutetaan.

Mittaustulokset:

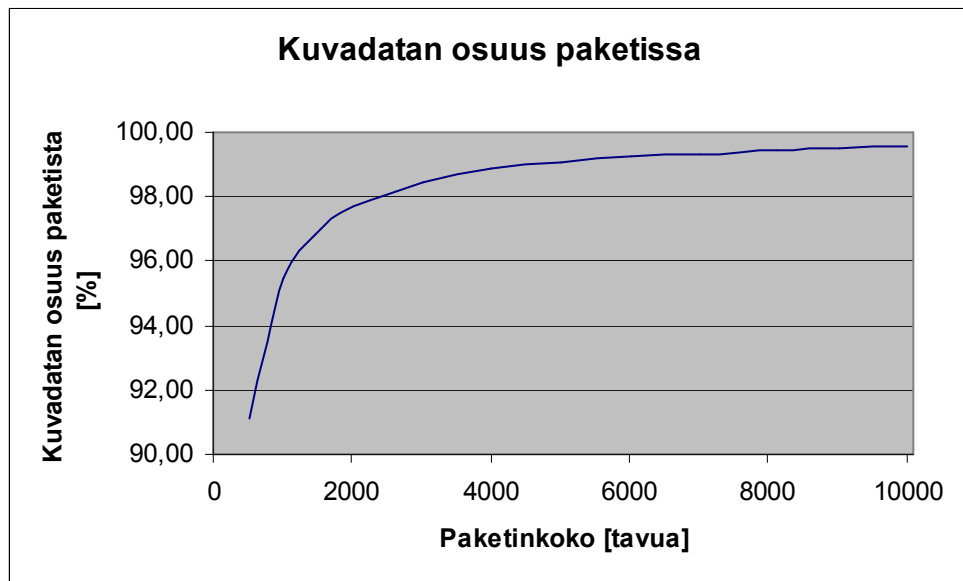
liikenne PC:stä kameraan: 2 pakettia, joiden koko 64 tavua

liikenne kamerasta PC:hen: 135195 pakettia, joiden koko 1496 tavua

Tuloksista voidaan todeta, että liikenne on lähes 100-prosenttisesti kameralta tulevaa liikennettä. OmniPeek-ohjelmalla nähdään, että paketin koko on 1496 tavua. Paketista 1450 tavua on kuvadataa. Liikenteen ”hyötykuormaksi” saadaan silloin $1450/1496 \approx 0,969 = 96,9\%$. Voidaan todeta, että liikenteen hyödyntäminen kuvan siirtoon riippuu paketin koon ja paketissa olevan kuvadatan suhteesta. Taulukossa 3 on esitetty tulokset, jossa tutkitaan, kuinka paljon kuvadataa paketti sisältää. Kuvassa 24 on esitetty graafisesti taulukon 3 arvot.

Taulukko 3. Kuvadatan osuus paketissa.

Paketinkoko [tavua]	Kuvadatankoko [tavua]	Kuvadatan osuus paketista [%]
10018	9972	99,54
9018	8972	99,49
8146	8100	99,44
7018	6972	99,34
6018	5972	99,24
5018	4972	99,08
4018	3972	98,86
3018	2972	98,48
2018	1972	97,72
1458	1412	96,84
1018	972	95,48
518	472	91,12



Kuva 24. Kuvadatan osuus paketista.

Tuloksista voidaan päätellä, että kuvadatan osuus prosentuaalisesti paketissa kasvaa, kun kasvatetaan paketin kokoa. Normaalisti käytössä olevan 1500 tavun paketin ja 9000 tavun jumbo frame -paketin ero on noin 3 prosenttiyksikköä. Näin pienellä erolla ei ole mitään todellista merkitystä.

5.3 Verkkokortin suorituskyky

Verkkokortin nopeus testataan liittämällä Intelin neliporttisen verkkokortin jokaiseen porttiin yksi kamera. Kameroilta tuleva data pakataan 8128 tavun jumbo frame -kokoon. Tarkoituksena löytää kameroille sellainen nopeus, että kuva saadaan vielä varmasti perille. Tietokoneessa käytetään filteriajuria eBus Optimal -ajuria, koska suurilla kuvanopeuksilla tietokoneen prosessorin käyttö olisi liian korkea ilman Optimal-ajuria.

Tulokseksi saatiin 165 kuvaa sekunnissa eli noin 50 MB/s jokaiselta kameralta. Yhteensä tietokoneelle saadaan 660 kuvaa eli 200 MB/s. Tätä nopeutta vielä kasvatettaessa alkaa tulla ongelmia kuvan saamisessa kameralta.

Verkkokortilla saavutettu nopeus tuotti suuren pettymyksen. Ennen verkkokortin testausta oletettiin, että verkkokortti pystyisi vastaanottamaan jokaisella portilla 1 Gbit/s (125 MB/s) eli yhteensä 4 Gbit/s (500 MB/s). Tuloksista kuitenkin nähdään, että kortilla pystytään vastaanottamaan 1,6 Gbit/s eli 200 MB/s jatkuvaa datamäärää. Tämä datamäärä on vain 40 % teoreettisesta maksimiarvosta.

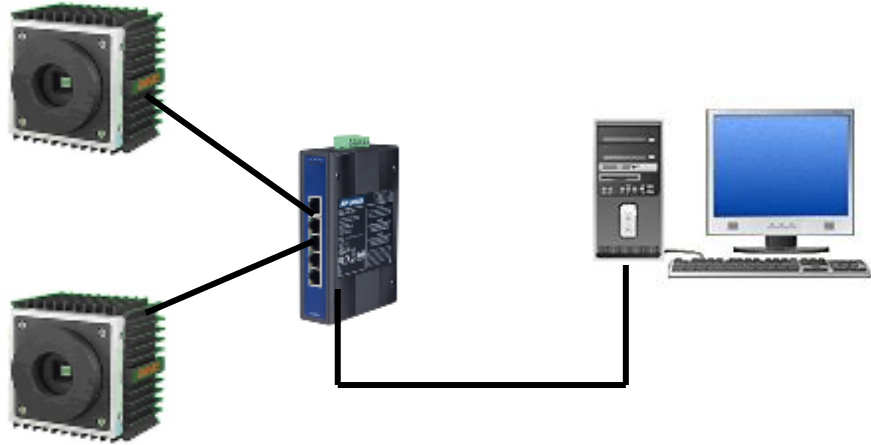
Työssä testattiin myös tietokoneen emolevyn omaa verkkokorttia sekä PCI-väylän verkkokorttia. Testaus tapahtui samalla tavalla kuin neliporttisen kortin testaus. Tietokoneen omalla verkkokortilla päästiin 1 Gbit/s nopeuksiin, mutta prosessorin käyttöaste oli suurempi kuin Intelin PRO/1000-kortilla. PCI-väylän verkkokortilla päästiin noin 80 MB/s suuruisiin nopeuksiin. Huono nopeus PCI-väylän korteilla johtuu PCI-väylän nopeudesta, joka on maksimissaan 133 MB/s. Tämä 133 MB/s on jaettu kaikkien PCI-korttien kesken. Kahta PCI-väylän korttia käyttämällä päästiin noin 50 MB/s nopeuteen yhdellä kortilla, eli yhteensä saatiin kuvadataa noin 100 MB/s.

Verkkokorttien, tietokoneen sekä filteriajuriin yhteisessä toiminnassa tuli vastaan joitakin ongelmia. Tietokone kaatui useita kertoja asennettaessa verkkokortille filteriajuria sekä muutettaessa verkkokortin asetuksia. Muutamia kertoja käyttöjärjestelmä ei löytänyt verkkokortin kaikkia neljää porttia. Ongelmat saattoivat osaltaan johtua verkkokorttien vaihdosta sekä eri filteriajuriin useista asennuksista.

Ongelmia aiheutti myös neliporttisen PCI Express -verkkokortin sekä PCI-verkkokortin käyttö samaan aikaan. Verkkokortit eivät toimineet samaan aikaan, vaan toinen korteista piti irrottaa, jotta saatiin testattua toinen korteista. Syytä tähän ongelmaan ei löydetty työn aikana.

5.4 Pakettikoon vaikutus nopeuteen

Tarkoituksena oli tutkia, miten pakettikoko vaikuttaa nopeuteen eli kuinka monta kuvaa sekunnissa voidaan vastaanottaa eri pakettiko'oilla. Käytetään kuvassa 25 esitettyä kytkentää. Kytkimenä käytetään ei-hallittavaa kytkintä. Tietokoneessa on INTELin neliporttinen verkkokortti ja käytetään Optimal-ajuria.



Kuva 25. Kytentä, jonka avulla määritetään pakettikoon vaikutusta kameroilta saatavaan kuvamäärään.

Kameroilta tuleva datamäärä saadaan laskettua kertomalla kuvakoko, kuvanopeus, pikselin bittimäärä sekä kameroiden määrä keskenään. Tulokseksi saadaan datamäärä bitteinä sekunnissa. Tämän työn tilanteessa kuvakoko on 640x480, kuvanopeus 210 kuvaa sekunnissa, kuva kahdeksanbittinen ja kameroiden määrä kaksi. Tulokseksi saadaan 103 219 299 bit/s. Tätä datamäärää ei pystytä siirtämään yhdessä väylässä, jolloin saadaan varmasti verkko täyteen liikennettä. Testattaessa kameroilta tuleva datamäärä kolmella eri pakettikoolla saatiin taulukossa 4 esitetyt tulokset.

Taulukko 4. Pakettikoon vaikutus nopeuteen.

pakettikoko	nopeus [fps]	nopeus [MB]
1440	385	118
4500	395	121
8128	400	123

Tuloksista voidaan todeta, että käytettäessä 8128 tavun suuruista pakettikokoa saadaan vain 15 kuvaa enemmän kuin käytettäessä 1440 tavun pakettia. Tuloksen perusteella voidaan kyseenalaistaa jumbo framen hyöty GigE-kameraverkossa.

5.5 Lähetysoparametrien vaikutus liikenteeseen

Työn aikana kokeiltiin lähetysoparametrien mm. ensimmäisen paketin lähetysoviiveen sekä pakettien välisen lähetysoviiveen vaikutusta verkon toimintaan. Näitä parametreja muuttamalla ei saatu nopeutettua verkon liikennettä. Lähetysoparametreja muuttamalla saatiin kuitenkin parannettua tiedonsiirron varmuutta monikamerajärjestelmissä. Varmuus kuvan perillepääsystä vie kuitenkin verkon tehokkuutta alaspäin.

5.6 Kaapelin pituuden vaikutus nopeuteen

Testataan, miten kaapelin pituus vaikuttaa kameroilta saatavaan kuvien määrään. Käytetään kuvassa 26 olevaa kytkentää. Kamerat on kytketty kytkimeen 5 metrin kaapelilla ja muutetaan tietokoneen ja kytkimen välistä kaapelinpituutta. Kaapeleina käytetään 50 metrin Cat5e-kaapeleita, joita yhdistämällä muutetaan kytkimen ja tietokoneen kaapelinpituutta. Taulukossa 5 on esitetty tulokset.

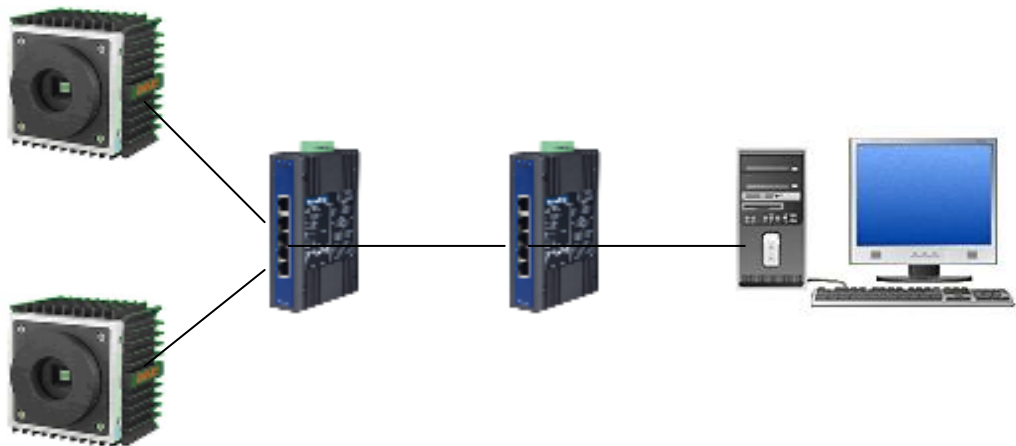


Kuva 26. Kytkentä, jolla testataan kaapelinpituuden vaikutusta nopeuteen.

Taulukko 5. Kaapelin pituuden vaikutus nopeuksiin.

kaapelin pituus [m]	nopeus [fps] (jumbo frame)	nopeus [MB] (jumbo frame)	nopeus [fps] (normaali paketti)	nopeus [MB] (normaali paketti)
50	400	123	385	118
100	400	123	385	118
150	40	12,3	38,5	11,8
200	4	1,2	3,9	1,2

Tuloksista voidaan päätellä, että verkkokortti määrittää automaattisesti nopeuden. Sadan metrin kaapelilla nopeus on 1000 Mbit/s. Kun pituus kasvaa 150 metriin, verkkokortti tiputtaa nopeuden 100 Mbit/s. Kahdellasadalla metrillä nopeus on 10 Mbit/s. Täydellä Gigabit-nopeudella voidaan käyttää noin 115 metrin kaapelia, tämän pituuden ylittyessä nopeus putoaa nopeuteen 100 Mbit/s.



Kuva 27. Kytkentä, jolla testataan 200 metriä pitkää verkkoa.

Kuvassa 27 on esitetty kytkentä, jolla testattiin, miten verkko toimii, kun kaapelia on 200 metriä. Testataan verkon nopeus kahdella eri pakettikoolla. Verkossa on kahden kytkimen sekä kytkimen ja tietokoneen välissä 100 metriä CAT-5e-kaapelia. Kameran on liitetty kytkimeen 5 metrin kaapelilla.

Taulukko 6. Verkon nopeus 200 metriä pitkässä verkossa.

pakettikoko	nopeus [fps]	nopeus [MB]
jumbo (8128 kt)	295	90,6
normaali (1416 kt)	385	118,3

Taulukon 6 tuloksista huomataan, että jumbo framella ei päästä enää 400 kuvaan sekunnissa vaan jäädyään 295 kuvaan sekunnissa. Normaalilla pakettikoolla päästään edelleen 385 kuvaan sekunnissa. Nopeuden putoaminen jumbo framea käytettäessä johtuu pitkässä verkossa tulevista viiveistä ja heijastumisista.

5.7 Filteriajurin vaikutus

Testataan, mitä eroja on Optimal-ajurin sekä Universal-ajurin välillä. Testissä saadaan taulokon 7 mukaiset tulokset.

Taulukko 7. Optimal-ajurin ja Universal-ajurin erot.

	eBUS Optimal ajuri	eBUS Universal ajuri
nopeus [fps]	400	400
nopeus [MB]	123	123
prosessorin käyttö	noin 1%	noin 30%

Tuloksista nähdään, että ainoat erot Universal- ja Optimal-ajurin välillä ovat tietokoneen prosessorin käytössä. Kun käytetään Universal-ajuria Optimal-ajurin sijasta, niin prosessorin käyttö kasvaa 1 %:sta noin 30 %:iin. Optimal-ajurin pienestä prosessorin kuormituksesta on todella paljon hyötyä, kun samalla tietokoneella tehdään esimerkiksi kuvankäsittelyä.

6 GigE-kamerajärjestelmät teollisuudessa

6.1 Nykytilanne teollisuudessa

Tällä hetkellä teollisuudessa on käytössä GigE-kameroita vielä vähän. Kokonaiset järjestelmät puuttuvat vielä kokonaan. Mielenkiinto ja kysyntä GigE:n käyttöön on koko ajan kasvamassa. Teollisuudessa on käytössä tällä hetkellä pääosin Camera Link- ja firewire-kameroita. Uusissa järjestelmissä ei tavata enää analogisia kameroita. Analogisten kameroiden käyttö pienenee koko ajan. (18)

Suurimmat syyt vielä pieneen GigE-kameroiden käyttöön teollisuudessa ovat tekniikan uutuus ja tietämättömyys. Yritykset eivät uskalla ostaa kalliita kameroita, joiden toiminnasta ei ole täyttä varmuutta. Mieluummin ostetaan tekniikkaa, jonka on todettu toimivan ja jota yrityksessä osataan käyttää. (18)

Gigabit Ethernet ei ole tällä hetkellä vielä monessa teollisuuslaitoksessa käytössä. On olemassa muutamia Gigabit Ethernet -sovelluksia, joissa Gigabit Ethernetiä käytetään runkoverkkona. Runkoverkkoon liitytään Ethernetillä tai Fast Ethernetillä. (5)

Gigabit Ethernet -verkon ja kameroiden käyttö kymmenien kameroiden järjestelmissä on vielä todella haastavaa, koska kameroilta saatava datamäärä on moninkertainen käytettävissä olevaan kaistan leveyteen.

6.2 GigE-tekniikan tuomat edut ja haitat teollisuudelle

6.2.1 Edut

Etuja, jotka tulivat esille työn aikana:

- Kamerajärjestelmä on erittäin joustava.
- Tietokoneella voidaan käyttää mitä tahansa verkossa olevaa kameraa.
- Tietokoneeseen liittäminen vaatii ainoastaan Gigabit Ethernet -portin.
- Ei tarvita kuvankaappauskortteja.
- Kuvadatan määrä on riittävän suuri.
- Ei tarvita kalliita kaapeleita, koska tavalliset ethernet-kaapelit käyvät kameran liittämiseen verkkoon.

6.2.2 Haitat

Haitat, jotka ilmenivät työn aikana:

- Ennen tätä työtä kameroiden käyttäytyminen verkossa oli vielä epäselvää.
- Tekniikkaa on tällä hetkellä uutta.
- Tietämys GigE-kameroista on vielä vähäistä.
- Yrityksiltä puuttuu ammattitaitoa käyttää GigE-kameroita.
- Kuvan siirtokapasiteetti ei yllä Camera linkin tasolle todella nopeissa ja suurissa sovelluksissa.
- Suurille datamäärille tehdyt verkkokortit puuttuvat.

6.3 Gigabit Ethernet -kameraverkon suunnittelu

Työssä tulleiden kokemusten ja tietojen perusteella voidaan todeta, että GigE-kameraverkon suunnittelu on aloitettava määrittämällä kameroilta tarvittava kuvadatan määrä. Tämä kuvadatan määrä määrittelee kaikki muut verkossa olevat komponentit. Kameroiden määrällä ei ole suurta merkitystä, koska kamerat on helppo liittää verkkoon kytkimien avulla. Jos ei ole tarvetta lähettää multicast-lähetyksiä, kannattaa ehdottomasti valita ei-hallittavat kytkimet. Gigabit Ethernet -kameraverkko on muistettava pitää erillään muista ethernet-verkoista, koska muut laitteet saattavat häiritä kameraliikennettä.

Gigabit Ethernet -verkko pitää suunnitella siirtämään hieman suurempia datamääriä kuin todellisuudessa on, koska siirrettäessä kuvadataa aivan ääri rajoilla saattaa tulla helposti häiriöitä. Häiriöt johtavat yleensä verkon kaatumiseen kokonaan.

Kameravalinnoissa pitää ottaa huomioon niiden sopivuus filteriajurin kanssa. Kaikkien verkossa olevien kameroiden on tuettava samaa filteriajuria esimerkiksi eBus, jotta päästään parhaaseen suorituskykyyn.

6.4 Tulevaisuuden mahdollisuudet

Tulevaisuudessa GigE-kamerat syrjäyttävät osan tällä hetkellä olevista kameratekniikoista. Gigabit Ethernet -verkon käyttö teollisuudessa tulee varmasti lisääntymään entisestään, kun saadaan lisää kokemuksia tekniikan toimivuudesta.

Muutamien vuosien päästä, jos 10 Gigabit Ethernet tulee käyttöön, suurissa järjestelmissä GigE-kamerat tulevat haastamaan myös Camera Linkin.

7 Yhteenveto

7.1 Työn tulokset

Työn päätavoite oli saada mahdollisimman paljon tietoa GigE-kameraverkon toiminnasta. Tavoite täyttyi hyvin, koska saatiin paljon tietoa verkon toiminnasta sekä mittaustuloksia monista eri asioista. Työ selkeytti kuvaa koko työn aihealueesta. Työn aikana tuli erilaisia kysymyksiä sekä ongelmia, joita ei alun perin voinut edes olettaa. Suurimpaan osaan kysymyksiin sekä ongelmiin löydettiin vastaukset työn aikana. Seuraavassa on tiivistettynä työssä todetut keskeiset seikat.

7.2 Pakettikoko

Tämän työn tulosten perusteella voidaan kyseenalaistaa jumbo framen käyttö GigE-kameraverkossa seuraavien syiden takia:

- Täydellä verkkonopeudella päästään jumbo framella vain noin 4,6 MB (15 fps) suurempaan kuvanopeuteen kuin tavallisella Ethernet-paketilla.
- Kaikki kytkimet sekä verkkokortit eivät tue jumbo frame -ominaisuutta.
- 200 metriä pitkissä verkkorakenteissa ilmeni selviä ongelmia jumbo framen käytössä.
- Jumbo frame -kytkinten hinta voi olla kalliimpi kuin kytkinten, jotka eivät tue jumbo framea.

7.3 Kytkin

Tämän työn perusteella voidaan todeta seuraavat asiat kytkinten kohdalla:

- Kalliiden hallittavien kytkinten käyttöön ei ole tarvetta.
- Hallittavien kytkimien ominaisuudet (paitsi joissain tapauksissa IGMP snooping) ovat tarpeettomia GigE-kameraverkoissa.
- Pärjätään hyvin ei-hallittavilla Gigabit Ethernet -kytkimillä.

7.4 Tietokone

Tietokoneelta vaadittavat ominaisuudet riittävän prosessoritehon sekä keskusmuistin lisäksi ovat seuraavat:

- yli 200 MB/s sovelluksissa tarvetta useammille PCI Express x16 -väyläpaikoille
- alle 200 MB/s sovelluksissa tarvitaan, kuten tässä työssä, yksi PCI Express x16 -väyläpaikka
- alle 100 MB/s sovelluksissa riittää tietokoneen oma verkkokortti tai PCI-väyläpaikka.

7.5 Kaapelit

Työn aikana ei ilmennyt ongelmia, jotka olisivat johtuneet kaapeleista. Verkoissa riittää Cat5e-luokan kaapelit. Gigabit Ethernet -kameraverkoissa ei ole tarvetta käyttää kalliimpia Cat6-kaapeleita.

7.6 Gigabit Ethernet -kameraverkon suunnittelu

Tässä työssä tulleiden kokemusten ja tietojen perusteella voidaan todeta, että GigE-kameraverkon suunnittelu on aloitettava määrittämällä kameroilta tarvittava kuvadatan määrä. Verkko pitää suunnitella siirtämään hieman suurempia datamääriä kuin todellisuudessa, pienikin ylikuormitus johtaa yleensä verkon kaatumiseen kokonaan. Kameravalinnoissa pitää ottaa huomioon niiden sopivuus filteriajurin kanssa. Kaikkien verkossa olevien on tuettava samaa filteriajuria, esimerkiksi eBus, jotta päästään parhaaseen suorituskykyyn.

7.7 Verkkokortti

Gigabit Ethernet -kameraverkoissa kannattaa käyttää PCI Express -väylään sopivia verkkokortteja. Tietokoneen oma verkkokortti sekä PCI-väylän verkkokortti eivät ole suorituskyvyltään samaa tasoa kuin Express-väylän kortit. PCI Express -väylän korttien kanssa päästään suurempiin datanopeuksiin sekä prosessorin käyttö on pienempää.

Suurimman pettymyksen tässä työssä aiheutti Intelin neliporttisen verkkokortin suorituskyky. Saavutettu datamäärä oli noin 40 % teoreettisesta maksimiarvosta.

Työssä aiheutti ongelmia neliporttisen PCI Express -verkkokortin ja PCI-verkkokortin käyttö samaan aikaan. Ongelmia tuli myös verkkokorttien, tietokoneen sekä filteriajuriin yhteisessä toiminnassa.

7.8 Filteriajuri

Windowsin omaa stackia ei voi käyttää tällaisissa kamerasovelluksissa. On käytettävä Universal-ajuria tai Optimal-ajuria. Universal-ajurin käyttö nostaa prosessorikäyttöä verrattuna Optimal-ajuriin, mutta Universal-ajuri käy kaikille verkkokorteille. Optimal-ajurin edut tulevat esille, kun tarvetta on suurille kuvadatamäärille. Yhden portin ollessa kuormitettuna kokonaan prosessorin käyttöaste oli vain noin 1 %.

7.9 Gigabit Ethernet

Työn kokemusten perusteella Gigabit Ethernet on hyvä vaihtoehto kuvadatan siirtoon. Kun kaikki laitteet verkossa oli saatu toimimaan, niin verkko toimi erittäin luotettavasti. Verkko ei ollut myöskään herkkä häiriöille. Gigabit Ethernet -verkon suurimpia hyötyjä on verkon helposti muutettava rakenne ja se että päästään nopeisiin ja pitkiin siirtoteihin.

7.10 Työn jatkaminen

Työn tulokset, uudet tiedot ja kokemukset ovat olleet työn teettäjälle erittäin tärkeitä. Työssä on käsitelty kattavasti Gigabit Ethernet -kameraverkkoihin liittyvät asiat. Työtä voisi kuitenkin vielä jatkaa käsittelemällä, miten kuvadatan siirto onnistuisi valokuidussa. Toisiko valokuitu jotain hyötyjä tai haittoja? Onnistuuko valokuidun ja kuparikaapelin käyttö samassa verkossa? Olisi myös mahdollista testata muita markkinoilla olevia verkkokortteja ja katsoa, löytyisikö markkinoilta parempia verkkokortteja kuin nyt testissä ollut verkkokortti.

Tietokonepuolella voisi vielä selvittää, saisiko tietokoneeseen liitettyä useampia neliporttisia verkkokortteja ja mitä se vaatisi tietokoneelta. Olisi myös hyvä selvittää tietokoneen minimivaatimukset, kun tietokoneeseen tulisi vaikka kuvadataa nopeudella 3 Gbit/s.

Olisi erittäin mielenkiintoista selvittää, miten eri kameravalmistajien GigE-kameroiden yhteensopivuus ja käyttö samassa verkossa onnistuu. Voisi myös tehdä vertailun eri kameravalmistajien kameroiden käytöstä, ominaisuuksista ja laadusta.

Lähteet

- 1 Metric Industrial. (WWW-dokumentti.) www.metric.fi/yhtioe/ Luettu 25.4.2008
- 2 AIA. (WWW-dokumentti.) Machine vision online. www.machinevisiononline.org/public/articles/gige_aia.htm Luettu 22.3.2008.
- 3 About GigE Vision and GenICam. (WWW-dokumentti.) Pleora. www.pleora.com/gige/genicam.php Luettu 22.3.2008.
- 4 The Elements of GigE Vision. (PDF-dokumentti.) Basler. www.baslerweb.com/indizes/download_index_en_57635.html Luettu 23.3.2008.
- 5 Kiertonen, Mikko, myyntipäällikkö, Metric Industrial: suullinen tieto 12.3.2008.
- 6 Corporate Overview. (WWW-dokumentti.) Pleora. www.pleora.com/company/overview.php Luettu 22.3.2008.
- 7 iPORT TM PT1000-VB IP Engine Data Sheet. (PDF-dokumentti.) Pleora. www.pleora.com/pdf/products/pt1000_vb_datasheet.pdf Luettu 29.4.2008.
- 8 GenICam standard v1.0. (PDF-dokumentti.) EMVA. http://www.emva.org/genicam/genicam%E2%84%A2_document_download Luettu 25.3.2008.
- 9 GenICam – The New programming Interface Standard for Cameras. (PDF- dokumentti.) Basler www.baslerweb.com/indizes/download_index_en_57635.html Luettu 23.3.2008.
- 10 Emerging markets final. (PowerPoint-dokumentti.) Imperx. CD-levy: Sales Meeting 2008, Boca Raton, Florida. Luettu 24.3.2008.
- 11 Huttunen, Rainer, tuotepäällikkö, Metric Industrial: suullinen tieto 26.3.2008.
- 12 Gigabit Ethernet Technology and Solutions. (PDF-dokumentti.) INTEL. http://www.intel.com/network/connectivity/resources/doc_library/white_papers/gigabit_ethernet/gigabit_ethernet.pdf Luettu 10.3.2008.
- 13 1000BASE-T—Delivering Gigabit Intelligence on Copper Infrastructure. (PDF-dokumentti.) Cisco. http://www.cisco.com/warp/public/cc/techno/lnty/etty/ggetty/tech/1000b_sd.pdf Luettu 5.3.2008.
- 14 Verkkokytäyksiköt. (WWW-dokumentti). Metric industrial. www.metric.fi/?op=item&pID=4787 Luettu 24.4.2008.

- 15 Understanding IGMP snooping, (PDF-dokumentti.) DELL.
http://www.dell.com/downloads/global/products/pwcnt/en/app_note_18.pdf
Luettu 8.3.2008
- 16 LYNX GigE Vision Driver Manual. Imperx. (PowerPoint-dokumentti.) Imperx.
CD-levy: Sales Meeting 2008, Boca Raton, Florida. Luettu 24.3.2008
- 17 LYNX GigE Vision Software Manual. Imperx. (PowerPoint-dokumentti.) Imperx.
CD-levy: Sales Meeting 2008, Boca Raton, Florida. Luettu 24.3.2008
- 18 Pelli, Timo, varatoimitusjohtaja, Metric Industrial: suullinen tieto 15.3.2008