



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



EIROPAS SAVIENĪBA

Eiropas Sociālais fonds

Prioritāte: 1.1. Augstākā izglītība un zinātne

Pasākums: 2.1.1.1. Zinātnes un pētniecības potenciāla attīstība

Aktivitāte: 2.1.1.1. Cilvēkresursu piesaiste zinātnei

Projekta nosaukums: "Viedās pilsētas tehnoloģijas dzīves kvalitātes uzlabošanai" (ViPTeh)

Līguma noslēgšanas datums: 16.09.2013.g.

Projekta sākuma datums: 01.09.2013.g.

Projekta beigu datums: 31.08.2015.g.

Vienošanās Nr.2013/0008/1DP/1.1.1.2.0/13/APIA/VIAA/016

Eiropas Savienības fonda finansējuma saņēmējs: Elektronikas un datorzinātņu institūts (EDI)

ZINĀTNISKĀ PĒTĪJUMA PROGRESU APLIECINOŠĀ DOKUMENTĀCIJA

Pārskata numurs Nr.2. par periodu no 01.12.2013.g līdz 28.02.2014.g.

Projekta zinātniskais vadītājs: Kaspars Sudars, Dr.sc.comp., pētnieks
Pētījuma projekta izpildītāju saraksts: Jurgis Poriņš, Dr.sc.ing., pētnieks
Ilya Lyashuk, Dr.sc.ing., pētnieks
Sergejs Olonkins, pētnieks
Igoris Homjakovs, Dr.sc.comp., pētnieks
Krišjānis Nesenbergs, asistents
Atis Hermanis, asistents
Ričards Čacurs, programmēšanas inženieris
Jānis Judvaitis, elektronikas inženieris
Valters Skrastiņš, elektronikas inženieris

ELEKTRONIKAS UN DATORZINĀTŅU INSTITŪTS

Rīga, Latvija

2014.gads

Saturs

Ievads	2
ViPTeh	2
1 Attēlu apstrāde datorredzei	3
1.1 Ievads	3
1.2 Fundamentālā matrica	3
1.3 Fundamentālās matricas novērtēšana	4
1.4 Fundamentālās matricas noteikšana pie nepareizi atrastām punktu atbilstībām	7
1.5 Kameras pārvietojuma un rotācijas rekonstruēšana	8
1.6 Rezultāti un secinājumi	9
2 Datu pārraide pa optiskajām datu pārraides sistēmām	10
2.1 Ievads	10
2.2 Optisko signālu pastiprināšana	10
2.3 Ramana optiskie pastiprinātāji	15
2.4 Secinājumi	17
3 Sensoro datu ieguve un sagatavošana	19
3.1 Ievads	19
3.2 Adaptīvs analogciparu pārveidotājs (ACP)	19
3.3 Sasniegtie rezultāti	21
Kopsavilkums	22

Ievads

Anotācija

”Viedās pilsētas tehnoloģijas dzīves kvalitātes uzlabošanai” (ViPTeh) ir ESF atbalstīts projekts zinātnisko grupu veidošanai. Šī projekta zinātniskais mērķis ir viedo pilsētu izpētes ietvaros veikt pētījumus par modernu datu ieguves, datu pārraides un informācijas apstrādes paņēmieniem, kas mērķēti cilvēku dzīves kvalitātes uzlabošanai, tajā skaitā, īpašu uzmanību veltot, jaunas optikas datu pārraides tehnoloģijas izstrādei.

Šajā dokumentā izklāstīts projekta aktivitātēs paveiktais darbs zinātniskajā pētniecībā un rezultāti. Pielikumā ir iekļautas šajā periodā iesniegtās un apstiprinātas zinātniskās publikācijas. Projektu atbalsta Eiropas Savienības fondi, līguma Nr. 2013/0008/1DP/1.1.1.2.0/13/APIA/VIAA/016.

ViPTeh

”Viedās pilsētas tehnoloģijas dzīves kvalitātes uzlabošanai” (ViPTeh) ir ESF atbalstīts projekts, kura zinātniskais mērķis ir viedo pilsētu izpētes ietvaros veikt pētījumus par modernu datu ieguves, datu pārraides un informācijas apstrādes paņēmieniem, kas mērķēti cilvēku dzīves kvalitātes uzlabošanai, tajā skaitā, īpašu uzmanību veltot, jaunas optisko datu pārraides tehnoloģijas izstrādei.

Par pārskata periodu ViPTeh projekta ietvaros ir veikts zinātniski pētnieciskais darbs sekojošos darbības virzienos:

- Attēlu apstrāde datorredzei
- Datu pārraide pa optiskajām datu pārraides sistēmām
- Sensoro datu ieguve un sagatavošana

Turpmākajās nodaļās ir apkopoti galvenie sasniegumi minētajos virzienos.

Nodaļa 1

Attēlu apstrāde datorredzei

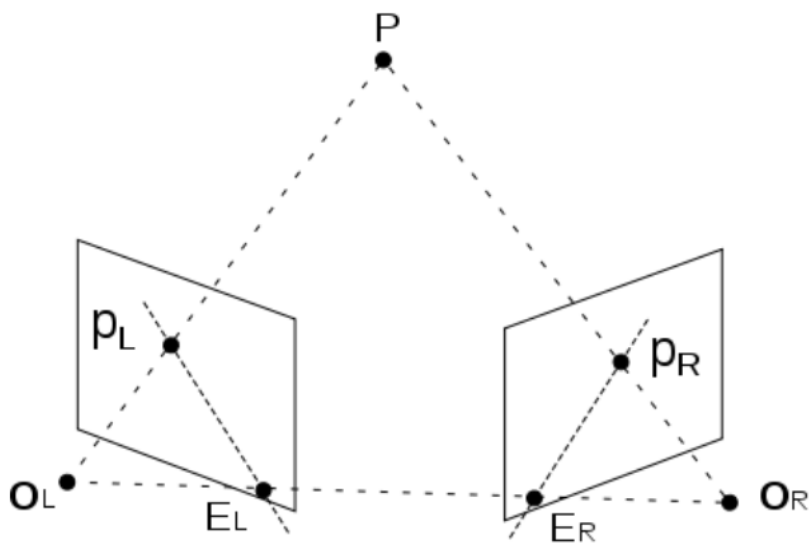
1.1 Ievads

Ar klasiskām videokamerām vai fotokamerām iegūstamie attēli satur divdimensionālu informāciju. Tā kā ikdienišķi procesi un darbības norisinās trīsdimensiju telpā, divdimensionāli attēli neraksturo tajos redzamo vidi pilnīgi. Tas liek meklēt metodes, kā no divdimensionāliem attēliem iegūt trīsdimensionālu informāciju. Viens no veidiem, kā risināt šo problēmu ir izmantot vairākus attēlus, kuros attēlots viens un tas pats telpas apgabals no dažādiem skatu punktiem. Lai atjaunotu telpas trīsdimensionālu informāciju ir pietiekami izmantot divas kameras. Divu kameru konfigurācija tiek aprakstīta izmantojot epipolāro ģeometriju un ģeometriskā sakarības algebriski tiek aprakstītas ar *fundamentālo* matricu. Šī iemesla dēļ, tiek pētīta divu skatu ģeometrija, fundamentālās matricas noteikšanas metodes, kā arī 3 dimensionālas informācijas atjaunošana no divdimensionāliem attēliem.

1.2 Fundamentālā matrica

Praksē viens objekts var būt redzams vismaz divos attēlos, uzņemtus no divām dažādām pozīcijām telpā, jeb no diviem skatiem. Pēc perspektīvās ģeometrijas likumiem katrs attēls jeb skats ir savā koordinātu sistēmā, kur koordinātu sākumpunkts jeb nulles punkts sakrīt ar katras kameras (ar kurām bilde uzņemta) jeb skata perspektīvas centru. Divu skatu ģeometrijā fundamentā matrica tad arī izsaka saistību vienai koordinātu sistēmai ar otru. Tā ir 3×3 izmēra matrica, kas sevī iekodē vienas koordinātu sistēmas pārvietojumu un rotāciju attiecībā pret otru koordinātu sistēmu [3].

Piezīmēsim, ka, rēķinot fundamentālo matricu, fokusa attālums no perspektīvas centra līdz projicēšanas plaknei tiek normēts, lai būtu 1, jeb attēls, kas ir 3D objekta projekcija 2D plaknē, tiek izteikts homogēnajā koordinātu sistēmā [3].



Att. 1.1: Epipolārā ģeometrija [4].

1.1. attēlā redzamo divu skatu ģeometriju sauc par epipolāro ģeometriju, kur P ir 3D punkts; O_l un O_r – atbilstošie perspektīvu centra punkti; p_l – punkta P projekcija kreisajā attēlā; p_r – punkta P projekcija labajā attēlā; $O_l O_r$ – “base” līnija; $p_l E_l$ – epipolārā līnija kreisajā attēlā; $p_r E_r$ – epipolārā līnija labajā attēlā; $E_l E_l$ – kreisā attēla epipols; E_r – labā attēla epipols. Punkti abos attēlos ir saistīti ar fundamentālo matricu pēc izteiksmes (1.1). Šī izteiksme ir fundamentālās matricas definīcija.

$$p_r^T F p_l = 0 \quad (1.1)$$

kur p_l – atbilstošā punkta P projekcija kreisajā attēlā, izteikts homogēnajās koordinātēs; F – 3x3 fundamentālā matrica; p_r – punkta P projekcija labajā attēlā izteikta homogēnajās koordinātēs. Šis vienādojums izsaka to, ka visiem vektoriem $O_l P$, $O_l O_r$ un $O_r P$ jāpieder vienai plaknei.

Izmantojot izteiksmi (1.1) ir iespējams noteikt fundamentālo matricu, ja ir zināms noteikts skaits punktu atbilstību abos attēlos. Vispārīgi ir nepieciešamas vismaz 8 punktu atbilstības [6], taču ir algoritms, kas ļauj noteikt fundamentālo matricu izmantojot 7 punktu atbilstības [3], taču šī algoritma trūkums ir tāds, ka tas var dot trīs atrisinājumus. Punktu pārus var meklēt, izmantojot raksturīgo punktu detektorus un deskriptorus, kā piemēram, ORB, kas tika izpētīts un analizēts iepriekšējā pārskata periodā [1]

1.3 Fundamentālās matricas novērtēšana

Tiešā veidā fundamentālo matricu iespējams noteikt izmantojot 8 punktu atbilstības. Katra punktu atbilstība, $p_l^i = (x_l^i, y_l^i, 1)$ un $p_r^i = (x_r^i, y_r^i, 1)$, ar nezināmiem fundamentālās matricas elementiem, veido lineāru vienādojumu (1.2).

$$x_r^i x_l^i f_{11} + x_r^i y_l^i f_{12} + x_r^i f_{13} + y_r^i x_l^i f_{21} + y_r^i y_l^i f_{22} + y_r^i f_{23} + x_l^i f_{31} + y_l^i f_{32} + f_{33} = 0 \quad (1.2)$$

Pārrakstot fundamentālās matricas elementus vektoru formā pēc rindu-
mažora kārtības, izteiksme (1.2) var tikt izteikta kā vektoru skalārais
reizinājums (1.3)

$$(x_r^i x_l^i, x_r^i y_l^i, x_r^i f_{13}, y_r^i x_l^i, y_r^i y_l^i, y_r^i f_{23}, x_l^i f_{31}, y_l^i f_{32}, 1) \mathbf{f} = 0 \quad (1.3)$$

Izteiksmē (1.3) \mathbf{f} ir fundamentālā matrica pierakstīta vektora formā
pēc rindas-mažora izkārtojuma. Vairākas punktu atbilstības dod lineāru
vienādojumu sistēmu, kuru varam vienkāršoti aprakstīt ar izteiksmi (1.4).

$$\mathbf{A} \mathbf{f} = 0 \quad (1.4)$$

Izteiksmē (1.4) matrica \mathbf{A} tiek saukta par mērījumu matricu, un ir atkarīga
no atbilstošo punktu koordinātēm attēlos. Katra šīs matricas rinda veidojās
no izteiksmes (1.3). Redzams, ka meklētā fundamentālā matrica ir matricas
 \mathbf{A} nulles telpa, un to iespējams atrisināt izmantojot lineārās algebras metodes.
Lai fundamentālai matricai būtu atrisinājums, mērījumu matricas rangam ir
jābūt 8. Fundamentālās matricas aprēķinos pastāv punktu konfigurācijas, kuras
dod nestabilus fundamentālās matricas aprēķinus, tādēļ praksē fundamentālā
matrica tiek noteikta, izmantojot lielāku skaitu punktu atbilstību. Gadījumā,
ja punktu atbilstības ir vairāk par astoņām, punktu mērījumu kļūdas dēļ
matricas rangs var būt lielāks par astoņi, un vienādojumu sistēmai var nebūt
atrisinājuma. Šādā gadījumā tiek meklēts atrisinājums, kas nodrošina minimālu
kvadrātisko kļūdu. Praksē problēmas risināšanai tiek izmantota singulāro
vērtību dekompozīcija (1.5).

$$\mathbf{A} = \mathbf{U} \mathbf{\Sigma} \mathbf{V}^T \quad (1.5)$$

Ar singulāro vērtību dekompozīciju, mērījumu matrica tiek sadalīta trīs
matricās, kur \mathbf{U} tiek saukta par kreiso singulāro vektoru matricu, \mathbf{V} tiek
saukta par labo singulāro vektoru matricu, un $\mathbf{\Sigma}$ ir diagonāles-matrica, kas
satur singulārās vērtības. Matricas \mathbf{A} nulles telpas atrisinājums, kas dod
vismazāko kvadrātisko kļūdu, ir atrodams, kā \mathbf{V} matricas pēdējā kolona [8].
Šo fundamentālās matricas atrašanas metodiku literatūrā dēvē par 8 punktu
algoritmu.

Pētot literatūru tika secināts, ka 8 punktu algoritms slikti strādā, ja attēlos
ir novērojams troksnis, un raksturīgo punktu koordinātes tiek noteiktas ar
neprecizitātēm. Šī iemesla dēļ vairumā gadījumu 8 punktu algoritms nav
izmantojams reālos pielietojumos. Lai uzlabotu trokšņa noturību literatūras
avotā [2] 8 punktu algoritms tiek uzlabots. Uzlabotais algoritms literatūrā tiek
dēvēts par normēto 8 punktu algoritmu. Algoritma būtība slēpjas tajā, ka pirms
fundamentālās matricas rēķināšanas, punktu koordinātes tiek transformētas
ar transformāciju tā, lai visu punktu ģeometriskais centrs atrastos kameras
centrā, un punktu vidējais kvadrātiskais attālums no kameras centra būtu
 $\sqrt{2}$. Tā, kā darbība notiek ar homogēnajām koordinātēm, tad transformācijas
abu attēlu koordinātēm var izteikt ar 3x3 matricām: \mathbf{T}_l un \mathbf{T}_r . Abas šīs
transformācijas sastāv no pārvietojuma transformācijas matricas, un mēroga
transformācijas matricas. Izteiksmē (1.6) dota transformācijas matrica, kreisā

attēla koordinātēm, taču tāda pati izteiksme ir spēkā labās kameras attēliem, taču matricas \mathbf{T}_s (mēroga transformācijas matrica) un \mathbf{T}_d (pārvietojuma transformācijas matrica) ir citas.

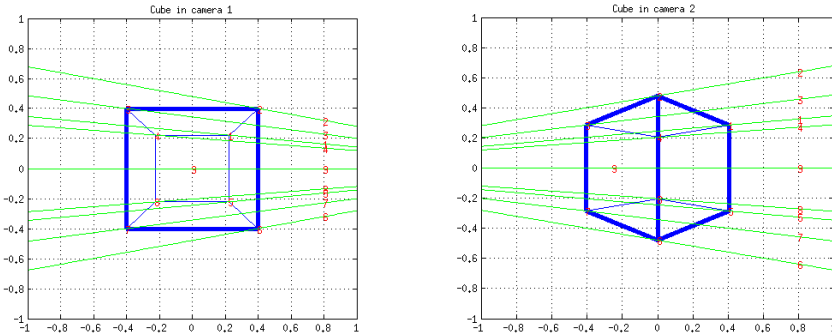
$$\mathbf{T}_l = \mathbf{T}_s \mathbf{T}_d \quad (1.6)$$

Pēc punktu koordinātu normēšanas, fundamentālā matrica tiek atrasta pēc 8 punktu algoritma, un iegūtā matrica tiek denormalizēta izteiksmes (1.7).

$$\mathbf{F} = \mathbf{T}_r^T \hat{\mathbf{F}} \mathbf{T}_l \quad (1.7)$$

Normētais 8 punktu algoritms tika implementēts "MATLAB" vidē. Veids, kā vizualizēt fundamentālo matricu ir izmantojot tā saucamās epipolārās taisnes. Punkts pirmajā kamerā, ar fundamentālo matricu definē punktu kopu, kas veido epipolāro taisni otrajā kamerā, un punktam otrajā kamerā ir jābūt uz šīs epipolārās taisnes. No šejienes parādās fundamentālās matricas pielietojšanas iespējas raksturīgo punktu meklēšanā, ja ir zināma fundamentālā matrica, kas saista abas kameras. Tātad, ja zināms punkts vienā kamerā, tad otrā kamerā šis punkts vairs nav jāmeklē visā attēlā, bet tikai uz noteiktas taisnes. Konkrētam punktam kreisajā kamerā - p_l , epipolārā taisne otrajā attēlā ir aprēķināma pēc izteiksmes (1.8). Iegūtā taisne l_r ir jāinterpretē vektor formā, kur katrs taisnes koeficients ir vektora elements.

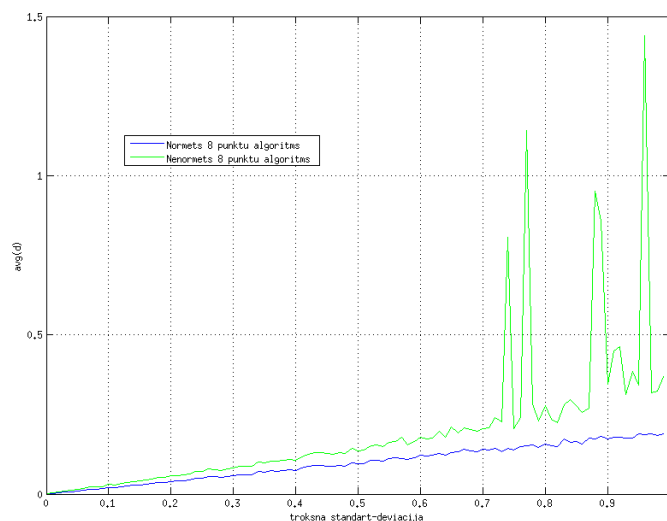
$$l_r = \mathbf{F} p_l \quad (1.8)$$



Att. 1.2: Epipolārās taisnes divos attēlos, kuros attēlots kubs no diviem skatu punktiem.

Matlab vidē tika veikta fundamentālās matricas noteikšanas precizitātes novērtēšana atkarībā no punktu koordinātu noteikšanas neprecizitātēm. Eksperimentos tika definēts kubs, un tika iegūtas divas mākslīgas kuba projekcijas. Izmantojot šīs projekcijas, tika noteikta fundamentālā matrica ar 8 punktu algoritmu un normēto 8 punktu algoritmu. Kā precizitātes novērtējums tika izvēlēts vidējais attālums starp punktiem attēlos un šo punktu atbilstošajām epipolārajām līnijām. Šis attālums tiek iegūts attēla punktu koordinātēm pievienojot troksni ar Gausa sadalījumu, kura vidējā vērtība ir 0, un standart-deviācija tiek mainīta robežās no 0-1. Pie katras trokšņa standart-deviācijas

vērtības, aprēķini tiek veikti 300 reizes, un galīgai rezultāts tiek ņemts, kā vidējais. 1.3. attēlā attēlotas kļūdas, kas rodas trokšņa ietekmē 8 punktu algoritmam, un normētajam 8 punktu algoritmam. Redzams, ka normētam algoritmam noturība pret trokšni ir lielāka, kā arī tas tiek uzdots literatūrā.



Att. 1.3: 8 punktu algoritma un normētā 8 punktu algoritma fundamentālās matricas noteikšanas precizitāte atkarībā no Gausa trokšņa standart-deviācijas.

1.4 Fundamentālās matricas noteikšana pie nepareizi atrastām punktu atbilstībām

Normētais 8 punktu algoritms ir izmantojams tad, ja punktu atbilstības ir noteiktas bez kļūdām. Darbojoties ar reāliem attēliem, izmantojot pieejamos punktu detektorus un deskriptorus, var gadīties punktu pāri divos kameru attēlos, kuri ir nepareizi sasaistīti. Lai nodrošinātu fundamentālās matricas pareizu noteikšanu ir nepieciešams algoritms, kurš spēj noteikt nepareizās punktu atbilstības, un fundamentālās matricas noteikšanā izmantotu tikai pareizas atbilstības. Literatūrā ir pieejamas vairākas metodes, kas risina šo problēmu [5] [11] [9]. Ir vairākas metodes, kas balstās uz RANSAC algoritmu, un projektā tiek izmantota metode balstīta uz RANSAC algoritmu.

RANSAC algoritma pamatā ir iteratīva fundamentālās matricas noteikšana. Katrā iterācijā fundamentālā matrica tiek rēķināta ar normēto 8 punktu algoritmu, izmantojot astoņas gadījuma veidā izvēlētas punktu atbilstības. Pēc tam izmantojot iterācijā iegūto fundamentālo matricu, visas punktu atbilstības tiek šķīrotas pareizās atbilstībās un nepareizās atbilstībās. Lai punktu atbilstību uzskatītu par pareizu vai nepareizu ir nepieciešams kritērijs. Avotā [3], tiek doti vairāki kritēriji, taču mūsu implementācijā algoritmam tiek izmantots Sampsona attālums, kas tiek definēts ar izteiksmi (1.9)

$$d_{sampson} = \frac{(p_r^T \mathbf{F} p_l)^2}{(l_l^1)^2 + (l_l^2)^2 + (l_r^1)^2 + (l_r^2)^2} \quad (1.9)$$

Izteiksmē p_r un p_l ir divu atbilstošo punktu koordinātes attēlos. l_l^1 un l_l^2 ir atbilstošās punktu atbilstības epipolārās taisnes koeficienti kreisajā attēlā, bet l_r^1 un l_r^2 atbilstošās punktu atbilstības epipolārās taisnes koeficienti labajā attēlā. Katrai punktu atbilstībai tiek sarēķināts $d_{sampson}$ un skatīts, ja šis attālums pārsniedz noteiktu sliekšni T , tad punktu atbilstība tiek uzskatīta par nepareizu. Pēc tam katrā iterācijā tiek skaitīts cik punktu atbilstības tiek klasificētas, kā pareizas. Par galīgo rezultātu tiek izmantots tās iterācijas rezultāts, kurš devis vislielāko skaitu pareizu atbilstību. Tā kā algoritma ātrdarbība ir atkarīga no iterāciju skaita, tad svarīgi izvēlēties pēc iespējas mazāku iterāciju skaitu. Iterācijas skaitu RANSAC algoritmā nosaka pēc izteiksmes (1.10), un šis iterāciju skaits katrā iterācijā tiek mainīts, atkarībā no tā kāda ir noteiktā pareizo punktu atbilstību skaita un kopējo punktu skaita attiecība - w .

$$N = \frac{\ln(1-p)}{\ln(1-w^n)} \quad (1.10)$$

Izteiksmē N ir nepieciešamo iterāciju skaits, kas nepieciešams, lai ar noteiktu varbūtību p , no visām iterācijā viena ir bijusi tāda, kurā visi izvēlētie punkti ir bijuši pareizas atbilstības. Šis nepieciešamo iterāciju skaits, tiek iteratīvi mainīts, jo pareizo atbilstošo punktu attiecība w parasti nav zināma, un ir jānosaka iteratīvi. Minētajam algoritmam ir trūkums, ka netiek ņemts vērā tas, cik iterācijās konkrēta punktu atbilstība ir klasificēta par pareizu, tādēļ avotā [5] algoritms tiek papildināt, piekārtojot katrai punktu atbilstībai lielumu, kas raksturo to cik iterācijās konkrētā punktu atbilstība bijusi klasificēta par pareizu. Beigās punktu atbilstības tiek kārtotas pēc tā cik bieži tās ir klasificētas, kā pareizas, un tiek atsijātas tās, kuras ir bijušas klasificētas par pareizām visretāk.

1.5 Kameras pārvietojuma un rotācijas rekonstruēšana

Lai veiktu fundamentālās matricas dekompozīciju relatīvajā koordinātu sistēmas pārvietojumā un rotācijā, vispirms tā jāpārrēķina “Essential” matricā, kas ir fundamentālās matricas līdziniece, kur kameru fokusa attālumi ir normēti pret reālajām vērtībām (bieži izteiktus pikseļos):

$$E = K_r^T F K_l, \quad (1.11)$$

kur attiecīgi E – datorredzē zināma kā 3x3 “Essential” matrica; K_r un K_l – tās ir 3x3 kameru projekciju matricas labajam un kreisajam skatam.

Veicot “Singular Value Decomposition” jeb SVD dekompozīciju “Essential” matricai (1.12), tiek iegūti koordinātu sistēmu relatīvie pārvietojumi, tāpat arī koordinātu sistēmas iespējamās 3x3 rotācijas matricas R_1 un R_2 (1.14) un (1.15):

$$E = \mathbf{U} \Sigma \mathbf{V}^T \quad (1.12)$$

SVD dekompozīcija (1.12) dod divus atrisinājumus koordinātu sistēmas relatīvajam pārvietojumam un divus atrisinājumus iespējamām rotācijām.

Koordinātu sistēmas relatīvais pārvietojums t ar “+” vai “-” zīmi ir \mathbf{U} matricas no vienādojuma (1.12) pēdējā kolona. Tālākā aprēķinu gaitā ir jāizvēlas pareizā rotācija un pārvietojums. To dara, atjaunojot vienu 3D punktu pie dažādām R_1 , R_2 , t , $-t$ kombinācijām un izvirzot kritēriju, ka rekonstruētajam 3D punktam jābūt abu kameru priekšplānā (atjaunotā 3D punkta z koordinātu ass vērtībai jābūt pozitīvai).

$$W = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.13)$$

$$R_1 = \mathbf{U}W\mathbf{V}^T \quad (1.14)$$

$$R_2 = \mathbf{U}W^T\mathbf{V}^T \quad (1.15)$$

Vienādojumi (1.13), (1.14) un (1.15) ļauj aprēķināt no fundamentālās matricas abu bilžu koordinātu sistēmu iespējamās rotācijas vienai attiecībā pret otru R_1 un R_2 .

1.6 Rezultāti un secinājumi

Par pārskata periodu ir veiksmīgi izanalizēts un implementēts fundamentālās matricas aprēķināšanas algoritms, kas izsaka saistību starp diviem attēliem – viena attēla uzņemšanas vietas un virziena pārvietojumu un rotāciju attiecībā pret otru attēlu. Tas turpmāk ļauj, apstrādājot vairākus attēlus, izvilkt informāciju par objekta formu un reālo 3D novietojumu telpā, kas ir būtiski turpmākajā pētnieciskajā darbā.

Nodaļa 2

Datu pārraide pa optiskajām datu pārraides sistēmām

2.1 Ievads

Nevēlamas optiska vājinājuma ietekmes kompensēšanai galvenokārt izmanto optisko signālu pastiprinātājus. Optiskai signālu pastiprināšanai ir arī alternatīva – signāla atkārtotāju izmantošana, kur optiskā plūsma vispirms tiek pārveidota elektriskajā signālā un tad atkal pārveidota, reģenerēta ar optiska raidītāja palīdzību. WDM pārraides sistēmu gadījumā šīs tehnoloģijas izmantošana ir ļoti neefektīva un ekonomiski nepamatota, jo tās realizēšanai nepieciešams veikt optisko signālu demultipleksēšanu, kanāla signāla apstrādi un reģenerēšanu.

2.2 Optisko signālu pastiprināšana

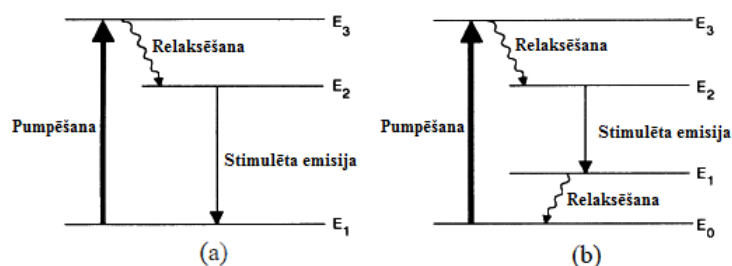
Optisko signālu pastiprināšanas galvenais princips ir bāzēts uz enerģijas pārejas no pumpējoša optiska starojuma vai no cita enerģijas veida uz pastiprināmo optisko starojumu. Atšķirīgos optisko pastiprinātāju veidos šis process tiek realizēts dažādi. Galvenokārt tas notiek, izmantojot stimulētas emisijas parādību pastiprinājuma vidē, kā, piemēram, pusvadītāju optiskajos pastiprinātājos, vai leģēto šķiedru optiskajos pastiprinātājos. Optisko signālu pastiprināšanai arī tiek izmantoti Ramana, Brilljuēna un četru viļņu mijiedarbes nelineārie optiskie efekti, kas tiek pielietoti attiecīgi Ramana, Brilljuēna un parametriskajos optiskajos pastiprinātājos. Optiskie pastiprinātāji, no pārraides sistēmas uzbūves viedokļa, var risināt dažādus uzdevumus un tiek sadalīti trīs pamatkategorijās:

- Līnijas pastiprinātāji – pastiprinātāji, kas tiek ievietoti pārraides līnijā starp ar noteiktu periodiskumu. Šādi pastiprinātāji galvenokārt kalpo, lai maksimāli palielinātu sistēmas pārraides attālumu, kamēr pastiprinātāju radīto trokšņu, dispersijas un nelineāro efektu ietekme to neierobežos;

- Jaudas busteri – pastiprinātāji, kas tiek ievietoti uzreiz aiz optiska raidītāja. Šādā veidā optiskie pastiprinātāji galvenokārt tiek izmantoti, lai palielinātu pārraidāma signāla jaudu vēl līnijas ieejā;
- Priekšpastiprinātāji – pastiprinātāji, kas tiek ievietoti uzreiz pirms uztvērēja. Šādi pastiprinātāji galvenokārt tiek izmantoti, lai palielinātu signāla jaudu pirms detektēšanas, tādā veidā netieši „uzlabojot” uztvērēja jutību.

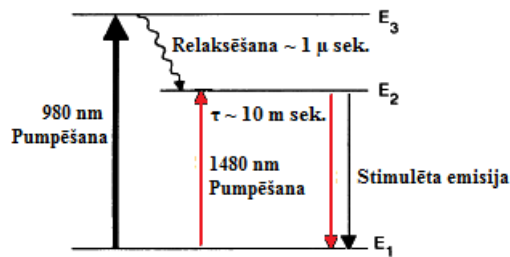
Optiskie pastiprinātāji WDM sakaru sistēmās var tikt izmantoti visdažādāko uzdevumu risināšanai, bet to galvenais uzdevums ir optisko zudumu kompensēšana. Vissvarīgākie optisko pastiprinātāju raksturojošie parametri ir radītais pastiprinājums, pastiprinājuma joslas platums, pastiprinājuma piesātinājums, polarizācijas jutība un pastiprinātāja radītie trokšņi. Radītais pastiprinājums optiskajiem pastiprinātājiem tiek noteikts kā izejas signāla jaudas attiecība pret tā paša signāla jaudu pastiprinātāja ieejā. Pastiprinātāji dažreiz arī tiek raksturoti ar pastiprinājuma efektivitāti, kas mēra pastiprinājumu kā funkciju no pumpējoša starojuma jaudas. Šī lieluma mērvienība ir dB/mW. Pastiprinātāja radītā pastiprinājuma joslas platums ir attiecināms uz viļņa garumu vai frekvenču diapazonu, kurā pastiprinātāja darbība ir efektīva, proti, kur tas spēj nodrošināt pārraidāmā signāla pastiprinājumu. Šis lielums ir ļoti būtisks, jo WDM sakaru sistēmas tas var ierobežot pastiprināmo viļņa garumu skaitu pie noteikta starpkanālu intervāla. Pastiprinājuma piesātinājuma punkts optiskajam pastiprinātājam ir sasniedzamās izejas jaudas vērtības maksimums, proti, kad optiska signāla jauda pastiprinātāja izejā vairs nepalielinās, palielinoties signāla jaudai pastiprinājuma ieejā. Kad ieejas jauda tiek palielināta virs piesātinājuma vērtības, nesēji pastiprinājuma vidē vairs nespēj izvadīt papildus gaismas enerģiju. Piesātinājuma jauda ir definēta kā izejas jauda, pie kuras ir 3 dB samazinājums signāla pastiprinājumā. Polarizācijas jutība ir attiecināta uz pastiprinājuma atkarību no signāla polarizācijas. Šī jutība tiek mērīta dB un izpaužas kā pastiprinājuma starpība starp TE un TM polarizētiem signāliem. Optisko signālu pastiprinātajos dominējošais trokšņu avots ir ASE, kas parādās no fotonu spontānas emisijas pastiprinājuma vidē. Pastiprinātāju radīto trokšņu daudzums ir atkarīgs no dažādiem faktoriem, visbūtiskākie no kuriem ir pastiprinājuma vides materiāla parametri (piemēram, enerģētiska līmeņa spontānais dzīves laiks) pastiprinājuma spektrs, trokšņu joslas platums, pastiprinātāja piesātinājuma un populācijas inversijas parametrs. Pastiprinātāja radīto trokšņu problēma visvairāk izpaužas sistēmās, kur daudzi pastiprinātāji ir saslēgti kaskādē, piemēram, maģistrālās optiskās līnijās. Katrs pastiprinātājs šajā kaskādē pastiprina ne tikai pārraidāmo signālu, bet arī iepriekšējā pastiprinātāja radītos trokšņus un klāt vēl pievieno savu ASE trokšņu daļu. Pastiprinātāja radīto ASE trokšņu daudzuma novērtēšanai parasti tiek izmantots ienesto trokšņu radītājs (NF). Šis lielums raksturo optiskas signāla-trokšņu attiecības (OSNR) izmaiņu, signālam izejot caur pastiprinātāju. Svarīga optisko pastiprinātāju klase ir leģēto šķiedru optiskie pastiprinātāji. Šāda tipa pastiprinātajos silīcija šķiedra ir leģēta ar retzemju elementiem ražošanas procesā, lai izveidotu divu, trīs vai četru līmeņu sistēmu, kura spēj nodrošināt efektīvāko pumpēšanu. Šādos pastiprinātajos var tikt izmantoti 14 retzemju elementi ar atomnumuriem no 58 līdz 71. Tādu retzemju elementu joni kā erbijs, holmijs, neodīms, samārijs, tūlijs un iterbijs varētu tikt izmantoti, lai

izgatavotu leģēto šķiedru pastiprinātājus, kas darbojas viļņa garuma diapazonā no redzamas gaismas līdz infrasarkanām starojumam. Tādus pastiprinātāju raksturlielumus kā darbības viļņa garumi un pastiprinājuma josla galvenokārt nosaka tieši izmantotais retzemju elements, kas spēlē pastiprinājuma vides lomu. Visbiežāk izmantotais retzemju elements ir erbijs, jo ar erbiju leģētas šķiedras optiskie pastiprinātāji (EDFA) darbojas C viļņa garuma diapazonā (1530 – 1565 nm), kur ir novērojams silīcija šķiedru vājinājuma līknes minimums. Eksistē arī EDFA optiskie pastiprinātāji, kuri ir veidoti, lai strādātu L optiskajā joslā (1565 – 1625 nm). Tos mēdz saukt par „nobīdīta pastiprinājuma” EDFA, un šāda pastiprinājuma spektra nobīde tiek panākta ar fluorīda un citu elementu izmantošanu šķiedras izgatavošanas procesā.



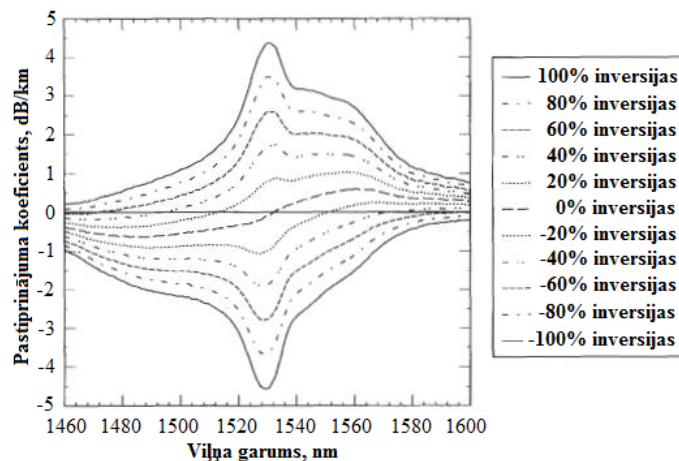
Att. 2.1: Trīs līmeņu (a) un četru līmeņu (b) pumpēšanas sistēmu shematisks attēlojums.

Atkarībā no leģēta materiāla enerģijas līmeņiem papildus tradicionālajai divlīmeņu sistēmai pumpēšanas shēmas var tikt sadalītas trīs un četru līmeņu shēmās. To vienkāršots attēlojums ir parādīts 3.1. att. Abos gadījumos leģēti retzemju elementi absorbē fotonus, lai sasniegtu augstāko enerģijas līmeni, un tad ātri relaksējas uz zemāko ierosināto enerģijas līmeni (2. līmeni). Atlikusī daļa no enerģijas tiek izmantota, lai pastiprinātu optisko signālu caur stimulētas emisijas procesu. Galvenā atšķirība starp šīm divām sistēmām parādās enerģētiskā līmenī, kurš tiek ieņemts jau pēc stimulētas emisijas procesa. Trīs līmeņu sistēmās gadījumā jons atgriežas zemākajā līmenī, no kura tas tika ierosināts, bet četru līmeņu sistēmās gadījumā tas joprojām atrodas ierosinātā stāvoklī, no kura tas relaksēsies jau uz sākotnējo neierosināto līmeni. Šī starpība būtiski iespaido kopējo pastiprinātāja veiktspēju. Vēl tiek pielietotas arī divlīmeņu sistēmas, kur nekāds relaksācijas process nenotiek. EDFA optiskajos pastiprinātājos tiek izmantota trīs un divu līmeņu pumpēšanas shēmas. Vairākas pārejas var tikt izmantotas pumpēšanas nolūkiem. Atšķirībā no pusvadītāju pastiprinātājiem EDFA izmanto optisko pumpēšanu. Efektīva pumpēšana var tikt panākta ar pumpēšanas starojumu viļņu garumiem tuvu 980 nm vai 1480 nm. Kā ir redzams 2.2. att., trīs līmeņu modelis varētu tikt izmantots, lai aprakstītu populācijas sadalījumu pa enerģētiskajiem līmeņiem pie 980 nm pumpējoša starojuma, bet 1480 nm pumpēšanas starojuma gadījumā parasti tiek izmantots divlīmeņu modelis.



Att. 2.2: Optisko signālu pastiprināšanas modelis EDFA pastiprinātājos ar 980 nm pumpēšanu (melns) un 1480 nm pumpēšanu (sarkans).

Ar 980 nm pumpējošo starojumu var sasniegt gandrīz pilnu erbija jonu inversiju, bet ar 1480 nm pumpējošo starojumu sasniedzamais populācijas inversijas līmenis parasti ir mazāks. EDFA, kura ar erbiju leģētai šķiedrai ir alumīnija un germānija piemaisījumi, radītā pastiprinājuma spektra formas izmaiņa atkarībā no populācijas inversijas līmeņa ir parādīta 2.3. attēlā.



Att. 2.3: Pastiprinājuma spektrs pie dažādiem populācijas inversijas līmeņiem ar erbiju leģētai šķiedrai ar alumīnija un germānija piemaisījumiem.

Kā ir redzams 2.3. attēlā, EDFA radītā pastiprinājuma spektra forma ir stipri atkarīga no iegūtā populācijas inversijas līmeņa, pie tam, ja zemāka enerģētiska līmeņa populācija būs lielāka par augstāka līmeņa populāciju, tad EDFA absorbēs pārraidāmā signāla fotonus, lai ierosinātu atomus uz augstāko enerģētisko līmeni, nevis radīs pastiprinājumu. Augstāka inversijas pakāpe ļauj iegūt mazāku ASE trokšņu daudzumu, tātad no trokšņu viedokļa labāk ir izmantot 980 nm pumpējošo starojumu. Pastiprinātāja kvantu efektivitāte ir lielāka pie 1480 nm pumpēšanas mazākas enerģijas līmeņu starpības dēļ starp pumpējošo un pastiprināmo starojumiem, tātad ar 1480 nm pumpējošo starojumu var iegūt lielāko pastiprinājuma koeficientu. Izejot no iepriekš pieminētā, 980 nm pumpējošo starojumu labāk izmantot daudzkanālu sistēmās,

bet 1480 nm starojumu – kad ir nepieciešams iegūt pēc iespējas lielāku pastiprinājumu. EDFA pastiprinātajos tiek izmantotas dažādas pumpēšanas shēmas:

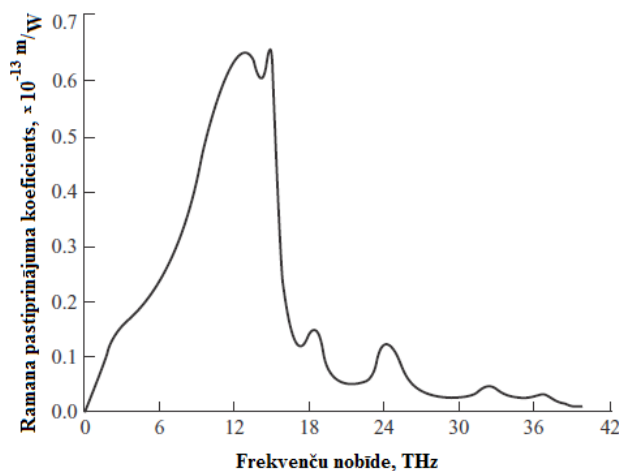
- Ar tieši vērsto pumpēšanu – pie mazas ieejas signāla jaudas un liela pastiprinājuma spēj nodrošināt zemāku trokšņu līmeni;
- Ar pretēji vērsto pumpēšanu – nepieciešama mazāka pumpējoša starojuma jauda nekā tieši vērsta pumpēšanas gadījumā, lai sasniegtu pastiprinātāja piesātinājumu;
- Abpusēja pumpēšana – spēj nodrošināt līdzienāko augstāka enerģētiska līmeņa populācijas sadalījumu pa leģēto šķiedru. Labāki rezultāti var tikt sasniegti pie 980 nm tieši vērsta un 1480 nm pretēji vērsta pumpējošiem starojumiem, jo pretēja virziena 1480 nm pumpēšanas augsta efektivitāte kombinācijā ar maz trokšņu radošo tieši vērsto 980 nm pumpēšanu nodrošinās lielāko pastiprinājumu pie mazāka radīto trokšņu daudzuma nekā gadījumā, kur pumpējošie starojumi tiktu saslēgti otrādi.

EDFA optisko pastiprinātāju galvenā priekšrocība ir tas, ka tie spēj nodrošināt ļoti lielu pastiprinājumu, neradot būtiskus signāla kropļojumus un ģenerējot salīdzinoši maz ASE trokšņus. Tipisks EDFA radītais pastiprinājums ir diapazonā no 20 līdz 30 dB, bet var tikt sasniegts arī 54 dB pastiprinājums. Tipiska ienesto trokšņu radītāja vērtība EDFA pastiprinātājiem ir ap 5-6 dB, bet reāli var tikt sasniegta arī 3 dB vērtība. Galvenais EDFA pastiprinātāju trūkums ir šaurs pastiprinājuma spektrs, kura platums parasti ir nedaudz zem 30 nm, bet pielietojot dažādus piemaisījumus leģēšanas procesā var iegūt arī platāku pastiprinājuma spektru. Atšķirībā no pusvadītāju pastiprinātājiem EDFA nav jūtīgs pret pastiprināmā signāla polarizāciju, tipisks ienesto zudumu lielums ir ap 2 dB un gandrīz neizraisa nelineāro efektu izpausmi, ja vien pastiprināmā signāla lielums nav pārāk augsts. Kad monohromatiskas gaismas staru kūlis tiek izkliedēts kādā caurspīdīgā vidē, gandrīz visam izkliedētajam starojumam ir tāda pati frekvence kā krītošam staru kūlim. To sauc par Releja izkliedi, bet mazas izkliedētas gaismas daļas frekvence ir atšķirīga no krītošas gaismas frekvences. Šāda uzvedība var parādīties trīs iemeslu dēļ:

- Daļa no krītošo fononu enerģijas var tikt absorbēta, lai izraisītu molekulu vibrācijas, kas savukārt radīs akustiskus fononus. Tas radīs izkliedēto gaismu, kurai frekvences nobīde ir salīdzinoši maza. Šo procesu sauc par Briljuena izkliedi;
- Daļa no krītoša fotona enerģijas tiek atdota molekulai, izraisot molekulu vibrācijas. Tas noved pie izkliedētas gaismas enerģijas samazinājuma, tātad arī šīs gaismas frekvence būs mazāka. Iegūtas spektrālas komponentes tiek sauktas par Ramana Stoksa komponentēm;
- No citas puses, fotons var izturēt izkliedi ar molekulu, kas jau ir vibrācijas režīmā. Šī molekula var relaksēties uz vienu no zemākajiem enerģētiskajiem līmeņiem un tādā veidā zaudēt enerģiju. Fotons var iegūt šīs molekulas zaudēto enerģiju. Tas noved pie fotona enerģijas un frekvences palielinājuma. Iegūtas spektrālas komponentes tiek sauktas par Ramana anti-Stoksa komponentēm.

2.3 Ramana optiskie pastiprinātāji

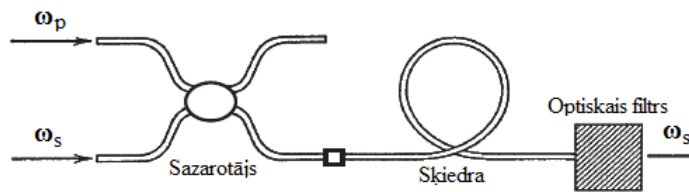
Tā kā varbūtība tam, ka molekula atradies vibrācijas stāvoklī ir mazāka, Stoksa emisijas intensitāte ir daudz lielāka par anti-Stoksa emisiju. Frekvenču nobīdes Stoksa un anti-Stoksa komponentēm ir vienādas, un tās ir atkarīgas no materiāla, uz kura tiek izkliedēta fotonu plūsma. Kad jaudīgais optiskais starojums izplatās pa optisko šķiedru, tiek novērota Ramana izkliedēta gaisma optiskas šķiedras izejā. Šī izkliedētā starojuma jauda ir ļoti maza, salīdzinot ar kopējā starojuma jaudu. To izskaidro ar spontānas Ramana izkļiedes parādību. Ja papildus šim jaudīgajam starojumam (pumpējošam starojumam) optiskā šķiedrā izplatās arī vājš optiskais starojums (pastiprināmais signāls), kura frekvence ir tajā pašā frekvenču joslā, kur tiek novērota spontāna Ramana izkļiede, tad šis process tiks attiecināts jau uz stimulēto Ramana izkļiedi. Šajā gadījumā jaudīgais pumpējošais starojums un vājš signāla starojums Ramana izkļiedes rezultātā tiek koherenti apvienoti vienā sistēmā, kur līdzīgi stimulētas emisijas parādībai vāja optiska signāla gaismas fotoni izraisa fotonu radīšanu ar tādu pašu frekvenci kā krītošam fotonam. Tātad krītoša gaisma tiks koherenti pastiprināta stimulētas Ramana izkļiedes (SRS) rezultātā. Tieši šī parādība tiek izmantota Ramana pastiprinātājos. Ramana pastiprinātāji ir viena no pirmajām plaši izmantotām ierīcēm, kas ir bāzētas uz optisko šķiedru nelinearitātes. Tā kā spontānas Ramana izkļiedes spektrs ir ārkārtīgi plats, arī pastiprinājuma -3dB spektra platums Ramana pastiprinātājiem var sasniegt 70 vai pat 80 nm. Pastiprinājuma spektra maksimums ir nobīdīts attiecībā pret pumpējošo starojumu par 13,2 THz, kā tas ir parādīts 2.4. att. Šis lielums tiek noteikts ar silīcija šķiedras materiālam raksturīgajām īpašībām un ir vienāds visā optisko šķiedru caurspīdības frekvenču diapazonā, no 0,3 līdz 2 μm .



Att. 2.4: Ramana pastiprinājuma koeficienta spektrāla atkarība vienmodu silīcija šķiedrā.

Ramana pastiprinātājos, tāpat kā EDFA gadījumā, var tikt izmantotas tieši, pretēji un abpusēji vērstas pumpēšanas shēmas. Ramana izkļiedes fenomens ir ārkārtīgi ātrs process, kas norisinās dažu femto sekunžu laikā.

Šāda ātrdarbība var sekmēt pastiprināmā signāla ietekmēšanu ar pumpējoša starojuma jaudas fluktuācijām. Var izmantot pretēji vērsto pumpējošo starojumu, lai izvairītos no šādas nepatīkamas ietekmes. Pie pretēji vērsta pumpējoša starojuma pārraidāmais signāls un jaudīgais pumpējošais starojums izplatās pretējos virzienos, tātad mijiedarbība starp katru konkrēto pārraidāmo bitu un katru pumpējoša starojuma fluktuāciju ir daudz īsāka nekā tieši vērsta pumpējoša starojuma gadījumā. Turklāt visi blakusesošie biti arī tiks iespaidoti ar šo pumpējoša starojuma izmaiņu, tātad pumpējoša starojuma fluktuāciju radītas pastiprinājuma izmaiņas tiks izlīdzinātas, kas pozitīvi ietekmēs pārraides kvalitāti. Efektīva pastiprināšana, izmantojot Ramana pastiprinātājus, var tikt panākta tikai tad, ja pumpējoša starojuma vērtība pārsniedz Ramana sliekšņa vērtību. Ramana sliekšņa vērtība ir vienāda nepieciešamajai pumpējošā starojuma jaudai viļņvada ieejā (attiecība pret pastiprinātāju), lai panāktu Stoksa viļņa jaudu viļņvada izejā vienādu ar pumpējošo jaudu. Tātad tā ir nepieciešamā jauda, lai izraisītu efektīvo enerģijas pāreju uz Stoksa vilni. Pastiprinājuma efektivitāte Ramana pastiprinātājiem pie zemiem ieejas signāla jaudas līmeņiem ir mazāka, un tā pieaug, palielinoties signāla jaudai. Tādēļ, ka stimulēta Ramana izkliede ir koherents enerģijas pārejas process, var sanākt, ka salīdzinoši jaudīgais signāls tiks pastiprināts efektīvāk nekā troksnis, kura jaudas līmenis ir daudz zemāks. Šāda koherenta pastiprināšana var novest pat pie signāla – trokšņu attiecības uzlabošanas pastiprinātāja izejā un pie negatīvām ienesto trokšņu rādītāja vērtībām. Negatīvas ienesto trokšņu rādītāja vērtības norāda uz to, ka signāls tiek pastiprināts efektīvāk nekā troksnis, un to jaudas pieaugums ir lielāks. Pateicoties labākai pastiprināšanas efektivitātei pie augstākiem signāla intensitātes līmeņiem, tieši vērsta pumpēšana spēj nodrošināt lielāko optisko signāla trokšņu attiecību un zemākas ienesto trokšņu rādītāja vērtības, jo lielākā daļa no Ramana pastiprinājuma ir koncentrēta pie pārraides līnijas ieejas, kur signāla līmenis ir lielāks. Tomēr iepriekš aprakstīto pumpējoša starojuma radīto pastiprinājuma fluktuāciju dēļ parasti tiek izmantota pretēji vērsta pumpēšana. Eksistē gan diskrēti, gan sadalīti Ramana pastiprinātāji. Diskrēto Ramana pastiprinātāju gadījumā kā pastiprinājuma vide tiek izmantota 1 vai 2 kilometru gara dispersiju kompensējoša šķiedra (DCF), vai paaugstinātas nelinearitātes šķiedra (HNLF), lai samazinātu nepieciešamo signāla intensitātes līmeni SRS izraisīšanai. Šādu šķiedru efektīvie šķērsriezuma laukumi ir mazāki par parastās vienmodu šķiedras efektīvo šķērsriezuma laukumu, kas būtiski samazina nepieciešamas intensitātes vērtību nelineāro efektu izpausmei, tādā veidā arī ievērojami palielinot to ietekmi. HNLF šķiedrās arī parasti pielieto speciālus piemaisījumus, lai palielinātu šķiedras nelinearitātes koeficientu. Diskrētie Ramana pastiprinātāji rada maz signāla kropļojumus, un tiem raksturīgas ienesto trokšņu rādītāja vērtības ap 3 dB. Sadalītie Ramana pastiprinātāji ir optiskie pastiprinātāji, kur kā pastiprinājuma vide tiek pielietota tā pati šķiedra, kura ir izmantota signālu pārraidei. Sadalīto Ramana pastiprinātāju gadījumā var tikt sasniegtas pat negatīvas ienesto trokšņu rādītāja vērtības. Parasti sadalītus Ramana pastiprinātājus pielieto maģistrālās līnijās, kur pārraides attālums sasniedz vairākus simtus vai pat dažus tūkstošus kilometru. Šādus pastiprinātājus ir viegli ievietot jau esošās pārraides sistēmās bez ilglaicīgas sistēmas darbības pārtraukšanas. Ramana pastiprinātāja shematiskais attēlojums ar tieši vērsto pumpējošo starojumu ir parādīts 2.5 attēlā.



Att. 2.5: Shematiskis Ramana pastiprinātāja attēlojums ar tieši vērsto pumpējošo starojumu.

5. attēlā ir redzams, ka, lai ievietotu Ramana pastiprinātāju pārraides sistēmā, galvenokārt ir nepieciešams tikai pumpējoša starojuma avots, sazarotājs un optiskais filtrs. Sazarotājs apvieno pumpējošo starojumu ar pārraidāmo signālu vienā optiskajā šķiedrā, un šķiedras galā optiskais filtrs tiek izmantots pumpējoša starojuma filtrēšanai, lai tas neradītu papildus trokšņus signāla detekšanas procesā. Sadalīta pastiprinātāja gadījumā 2.5. att. redzamā optiskā šķiedra ir tā optiskā šķiedra, kas ir izmantota optisko signālu pārraidei, bet diskreto pastiprinātāja gadījumā tās vietā ir DCF vai HNLF optiskā šķiedra. Papildus 2.5. att. parādītajām komponentēm Ramana pastiprinātāju gadījumā ir nepieciešama optisko izolatoru pielietošana, lai jaudīgais pumpējošais starojums atstarošanās gadījumā neradītu citu sistēmas elementu bojājumus. Gan sadalīto, gan diskreto Ramana pastiprinātāju gadījumos galvenais trūkums ir nepieciešamība pēc dārgiem jaudīgiem pumpēšanas avotiem. 20 dB pastiprinājuma iegūšanai signālam ar -30 dBm jaudu ar sadalīto Ramana pastiprinātāju ir nepieciešams pumpējošais starojums ar jaudu ap 1 W, un, protams, tādus jaudīgus lāzerus ir daudz grūtāk izgatavot, tāpēc tie ir ļoti dārgi salīdzinot ar EDFA izmantotajiem pumpējošo starojumu avotiem. Viens no galvenajiem Ramana pastiprinātāju veiktspējas ierobežojošiem faktoriem ir Relēja izkliede, kuras dēļ maza gaismas daļa vienmēr tiek izkliedēta atpakaļvirzienā. Parasti gaismas daļa, kura tiek izkliedēta pretēji gaismas pamatdaļas izplatīšanas virzienam, ir niecīga, bet sistēmās ar Ramana pastiprinātājiem tā var tikt pastiprināta garā šķiedras gabalā un var divējādi ietekmēt sistēmas darbību. Pirmkārt, daļa no atpakaļ vērsta starojuma parādās arī tiešajā virzienā, palielinot kopējo trokšņu daudzumu. Otrkārt, signāla dubulta Relēja izkliede var radīt šķērstraucējumu komponenti tiešajā virzienā. Tieši šie Relēja šķērstraucējumi, kuri ir pastiprināti ar sadalīto Ramana pastiprinājumu, var būtiski iespaidot sistēmas darbību. Vēl viens faktors, kas var būtiski iespaidot Ramana pastiprinātāju darbību, ir pastiprinājuma atkarība no pastiprināmā signāla polarizācijas. Vislielākā pastiprinājuma pasliktināšanās parādās, kad pumpējošais starojums un pastiprināmais starojums ir ortogonāli polarizēti. Šīs problēmas risināšanai mēdz izmantot pumpējošus divus ortogonāli polarizētus starojumus.

2.4 Secinājumi

Ramana pastiprinātāji var pastiprināt jebkuru no gaismas viļņa garumiem, kas mūsdienās tiek izmantoti signālu pārraidē, kamēr pumpējoša starojuma viļņa garums ir pareizi izvēlēts. Ramana pastiprinājuma spektrs var tikt

izmainīts, mainot pumpējošo starojumu jaudas un viļņa garumus. Tādā veidā, pievienojot vairākus pumpēšanas avotus, var pat panākt pastiprinājumu ar vairāk nekā 100 nm platu -3 dB pastiprinājuma joslu. Tas padara Ramana pastiprinātājus ļoti pievilcīgus izmantošanai WDM sakaru sistēmās. Ramana pastiprinātāji var papildināt sistēmas ar jau esošiem SOA vai EDFA pastiprinātājiem, lai paplašinātu pastiprinājuma spektru vai iegūtu lielāko pastiprinājumu kombinācijā ar zemāko radīto trokšņu daudzumu.

Nodaļa 3

Sensoro datu ieguve un sagatavošana

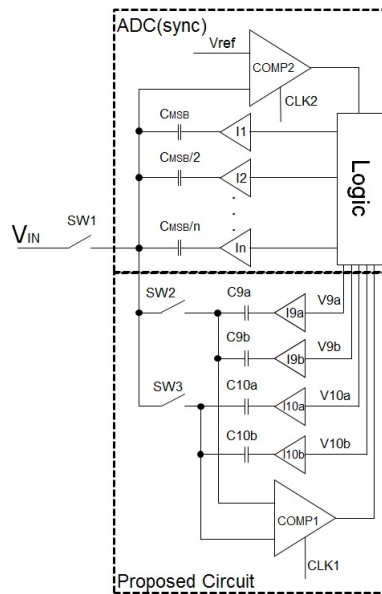
3.1 Ievads

Šajā nodaļā tiek aprakstīta adaptīva ACP arhitektūra, kas ļauj efektīvi apstrādāt analogo signālu samazinot enerģijas patēriņu. Šīs ACP var darboties kā tradicionāls ACP kā arī signāl atkarīgs ACP. Lai būtu iespēja salīdzināt piedāvātā ACP jaudas patēriņš ar klasisko ACP tika izvesta formula kas ir dota nodaļas beigās.

3.2 Adaptīvs analogciparu pārveidotājs (ACP)

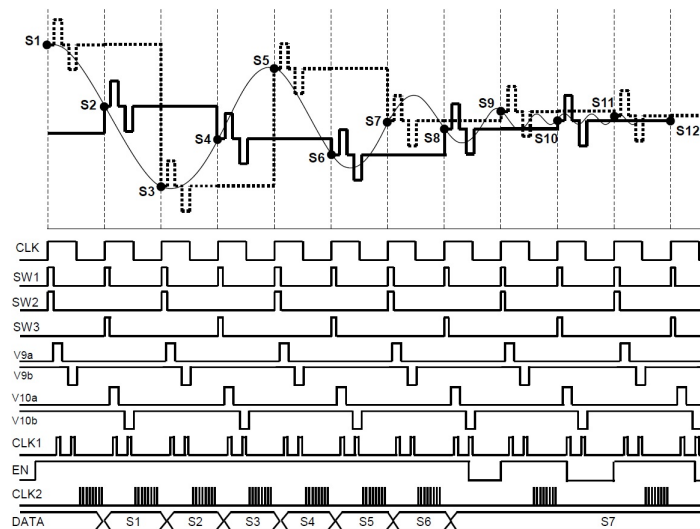
Lai izveidotu energo-efektīvu ACP, ir ļoti svarīgi izvēlēties tās arhitektūru. Bieži vien galvenie kritēriji kas ir ļoti svarīgi signālatkarīgos pielietojumos ir niecīga statiskā strāva un lai enerģijas patēriņš būtu proporcionāls takts frekvencei. ACP arhitektūras, kas darbojas pēc lādiņu pārdalīšanas (charge-redistribution) principa [7] ļauj sasniegt tādus kritērijus un strādājot pēc signāl atkarīgas metodes sasniegt ļoti mazu enerģijas patēriņu.

Tālāk tiks aprakstīts šīs arhitektūras darbības princips. Pieņemsim, ka slēdži $SW1$ un $SW2$ tiek ieslēgti uz īsu laika periodu lai saglabātu analogā signāla nolasi $S1$ saglabājot to kondensatoru masīvā C_{MSB} , kā arī kondensatoros $C9$ un $C9a$. Nākamajā takts periodā tiek ieslēgti slēdži $SW1$ un $SW3$, lai saglabātu otro signāla nolasi. Pēc diviem takts periodiem divas signāla nolases tiek saildzinātas pirms atnāk trešais takts impuls. Nolases tiek salīdzinātas, iedarbinot invertoru pāris $I9a/I9b$ un $I10a/I10b$. Ja spriegums $V9a$ ir nulle, tad $C9$ kondensatoram tiek pielikts lādiņš kuru vērtība ir $(\Delta V = VDD \cdot (C9a/(C9a + C9b)))$. Tālāk, $V9a$ spriegums tiek paaugstināts līdz barošanas sprieguma vērtībai, un spriegums $V9b$ ir samazināts līdz nullei, tādā veidā samazinot spriegumu kondensatoros $C9a$ un $C9b$ par $(\Delta V$ vērtību. Tādā veidā ir iespējams noteikt vai nolases $S2$ sprieguma vērtība ir lielāka vai mazāka par noteikto sliekšņa vērtību (V_{TH}).



Att. 3.1: ACP arhitektūra.

3.1. att. parādīta piedāvātā ACP arhitektūra, kas var darboties kā tradicionāls ACP kā arī signāl atkarīgs ACP.



Att. 3.2: ACP darbību raksturojošie signāli.

3.2. att. attēlo detalizētu ACP darbības principu. Piemēram, šajā zīmējumā var redzēt, ka nolašu S1-S7 sprieguma vērtības ir lielākas par V_{TH} un līdz ar to visas šīs nolases tiek paņemtas un saciparotas. Sakot ar nolasi S8, signāla aktivitāte samazinās un tas nolase netiks ņemtas un tiek pieņemts ka nākošo

nolašu sprieguma vērtības ir vienādas ar S7 nolasi.

Pielikta un atņemta lādiņa vērtība var būt izmainīta pieliekot citu barošanas spriegumu, vai pieliekot kondensatoru un invertoru pāris, kas ļaus kontrolēt V_{TH} vērtību ar ciparu loģiku [10].

Piedāvātā ACP jaudas patēriņš salīdzinājumā ar klasisko ACP var būt aprakstīts ar sekojošo izteiksmi:

$$\frac{P_{ADC(prop)}}{P_{ADC(sync)}} = \alpha + \frac{P_{prop}}{P_{ADC(sync)}}$$

, kur $P_{ADC(prop)}$ - pievadātā ACP jauda, $P_{ADC(sync)}$ - tradicionāla ACP jauda un α - signāla aktivitāte.

3.3 Sasniegtie rezultāti

Veikti pētījumi, kas apkopoti publikācijā „Activity-Dependent Sampling Technique”. Publikāciju paredzēts iesniegt starptautiskajā zinātniskajā konferencē BEC2014. Tas veikts 2.2 projekta aktivitātes ietvaros.

Kopsavilkums

Galvenās zinātniskās darbības, kas paveiktas projekta "Viedās pilsētas tehnoloģijas dzīves kvalitātes uzlabošanai" (ViPTeh) aktivitāšu 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 un šī pārskata perioda ietvaros:

- Sagatavota zinātniskā publikācija "Activity-Dependent Sampling Technique", kas tiks iesniegta starptautiskajai zinātniskajai konferencei BEC2014;
- Analizēts un implementēts Fundamentālās matricas rēķināšanas algoritms;
- Pētīti un analizēti optiskie pastiprinātāji.

Tālāk paredzēts turpināt darbu pie zinātniskās pētniecības viedo pilsētu tehnoloģiju jomā.

Literatūra

- [1] K. E. Rublee, V. Rabaud and G. Bradski. Orb: An efficient alternative to sift or surf. pages 2564–2571. IEEE International Conference on Computer Vision, 11 2011.
- [2] R. Hartley. In defense of the eight-point algorithm. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions*, 19:580–593, 1997.
- [3] R. I. Hartley and A. Zisserman. *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press, 2 edition, 2004.
- [4] Internts. Internets: http://en.wikipedia.org/wiki/epipolar_geometry.
- [5] S.-H. L. Jing-Fu Huang and C.-M. Cheng. Robust fundamental matrix estimation with accurate outlier detection. *Journal of Information Science and Engineering*, 23:1213–1225, 2007.
- [6] H. C. Longuet-Higgins. A computer algorithm for reconstructing a scene from two projection. *Nature*, pages 133–135, 1981.
- [7] G. Manganaro. *Advanced Data Converters*. 2012.
- [8] G. Strang. *Introduction to Linear Algebra*. Wellesley-Cambridge press, fourth edition, 2009.
- [9] P. Torr and D. Murray. The development and comparison of robust methods for estimating the fundamental matrix. *International Journal of Computer Vision*, 24:271–300, 1997.
- [10] M. v. Elzakker. A 1.9uw 4.4fj/conversion-step 10b 1ms/s charge-redistribution adc. *ISSCC Dig.Tech*, page 244–245, 2008.
- [11] P. S. Zezhi Chen, Chengke Wu and Y. Liu. A robust algorithm to estimate the fundamental matrix. *Pattern Recognition Letters*, 21:851–861, 2000.