

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Индустијски инжењеринг

Предмет: СИМ сиситеми

Број индекса: 374/2014

Ненад З. Гавриловић

**Примена ласерске димензионе контроле
квалитета у индустрији**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Миладин Стефановић - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог рада кандидат треба да представи и опише бесконтактна мерења. Затим, да објасни појам контроле квалитета и да да пример и опис једог уређаја за ласерску контролу квалитета.

Препоручена литература:

[1] Грујовић А., Техничка мерења I, Основи теорије мерења, Машински факултет у Крагујевцу, 1999.

[2] Грујовић А., Грујовић Н., Техничка мерења II, Основи технике мерних средстава, Машински факултет у Крагујевцу, 2005.

Крагујевац, 2019.

ментор:

Др Миладин Стефановић, ред. проф.

РЕЗИМЕ

У оквиру рада, описани су појам и примена бесконтактних мерења, као и ласерска контрола квалитета. Такође, представљен је пример уређаја за ласерску контролу квалитета „Leica Absolute Tracker AT401“. На самом крају, извршен је пример ласерске контроле квалитета, тумачење и презентовање резултата.

Кључне речи: мерење, контрола квалитета, ласер

ABSTRACT

The concept and application of contactless measurements was described, as well as laser quality control. Also, an example of the laser quality control device "Leica Absolute Tracker AT401" was presented. Lastly, an example of laser quality control was performed, and the results were interpreted and presented.

Key words: measurement, quality control, laser

Садржај

1. Увод	1
2. Мерења	2
2.1 Директна и индиректна метода мерења	2
2.1.1 Директна метода мерења	3
2.1.2 Индиректна метода мерења	3
2.2 Инструменти за мерење	4
2.3 Грешке мерења	4
3. Димензиона мерења	5
3.1 Мерење дужине	5
3.2 Мерење угла	6
3.3 Правост и равност	6
3.4 Врсте алата за мерење димензија	7
4. Бесконтактна мерења	9
4.1 Примена бесконтактних мерења	10
4.1.1 Инжењерска индустрија	10
4.1.2 Микроелектронска индустрија	10
4.1.3 Примена у медицини	10
4.1.4 Прехрамбена индустрија	11
4.2 Оптичке методе мерења	11
4.2.1 Предности оптичких мерења	12
4.2.2 Недостаци оптичких мерења	12
4.2.3 Примена оптичких мерења	13
4.3 Системи мерења засновани на светлости	13
4.3.1 Структурно светло	13
4.4 Системи за мерење засновани на виду	14
4.5 Технике бесконтактног мерења геометрије површине	15
4.5.1 Технике базиране на тачкама	16
4.5.2 Технике базиране на линијама	20
4.5.3 Технике базиране на областима	21
4.6 Уређај за бесконтактна мерења	24
4.6.1 Ласерски систем праћења	24
4.6.2 „Leica Absolute Tracker AT401“	27
5. Контрола квалитета	40

5.1	Предности ефикасне контроле квалитета	40
5.2	Историја контроле квалитета.....	41
5.3	Функционисање контроле квалитета.....	43
5.4	Методе и алати контроле квалитета	44
5.4.1	Инспекција	44
5.4.2	Статистичка контрола квалитета	45
5.4.3	Алати за контролу квалитета	47
5.5	Најчешће врсте услуга контроле квалитета	47
5.5.1	Контрола пре-производње	48
5.5.2	Контрола током производње.....	48
5.5.3	Коначна случајна контрола	49
5.5.4	Контрола пуњења контејнера	50
6.	Ласерска контрола квалитета	51
6.1	Ласерска триангулација	51
6.1.1	„Stak“ model.....	53
6.1.2	Равански модел	54
6.1.3	Конфигурација ласерског триангулационог система	55
6.2	Време лета	55
6.3	Ласерски интерферометри.....	56
6.4	3D ласерско скенирање	58
6.4.1	Предности 3D ласерског скенирања	58
6.4.2	Процес 3D скенирања.....	59
7.	Пример ласерске контроле квалитета.....	61
7.1	Контрола квалитета помоћу „Leica Absolute Tracker AT401“	61
7.2	Пример резултата ласерске контроле квалитета.....	63
8.	Закључак	65
	Литература	66

1. Увод

Мерење је чин упоређивања мерене величине (тежине, дужине, капацитета, величине или других физичких димензија објекта) са ругом истородном величином која је усвојена за јединицу мере, [1].

Процес мерења се састоји од следеће четири фазе:

- дефинисање задатака и циљева мерења,
- формирање плана мерења,
- реализација плана мерења и
- обрада резултата мерења.

Циљеви мерења могу бити различити:

- квантитативно идентификовање физичких и других појава,
- надгледање стања процеса,
- активна контрола и управљање процесима,
- контрола квалитета производа,
- комерцијално пословање и др.

Стимулисана емисија усмереног кохерентног електромагнетног зрачења, која обухвата инфрацрвени, видљиви и ултраљубичасти део спектра, заснована на квантној природи зрачења, позната под називом ласер, једно је од великих достигнућа савремене науке и технике, које је за релативно кратко време нашло значајну примену у многим технологијама, телекомуникацијама, војној техници, као и у метрологији, [2].

Данас се у разним индустријама користе различите врсте ласера: у аутомобилској, ваздухопловној или бродарској индустрији, индустрији полупроводника, медицини или производњи хране.

Технологија мерења геометрије ласером покрива врло широк спектар примене. Од релативно једноставног мерења равности до знатно сложенијих мерења управности производних машина и верификације геометрије турбина за производњу електричне енергије. Прилагођени су да та мерења изводе брзо и лако. Универзални и интелигентни дизајн, отвара многе могућности јер су ласерски предајници и детектори дизајнирани тако да се уврћу, ротирају и монтирају на све могуће начине.

За апликације за мерење ултра прецизних положаја и померања, бесконтактне методе нуде неколико предности. Омогућују висок динамички одзив, резолуцију мерења до пикометра, имају ниску (или не) хистерезу и могу да мере мале, ломљиве делове без ризика од оштећења деликатних структура.

2. Мерења

У науци, мерење је скуп квантитативних или нумеричких података који описују својство неког објекта или догађаја. Мерење се врши упоређивањем количине са стандардном јединицом. Пошто ово поређење не може да буде савршено, мерења инхерентно укључују грешку, која представља то колико измерена вредност одступа од праве вредности. Наука о мерењу се назива метрологија, [1, 3].

Постоје многи системи за мерење који су коришћени кроз историју и широм света, али је од 18. века постигнут напредак у постављању међународног стандарда. Савремени међународни систем јединица (SI) заснива све врсте физичких мерења на седам основних јединица, [3].

Постоје критеријуми које научници користе да упореде мерења:

- тип,
- величина,
- јединица и
- несигурност.

Ниво или тип је методологија која се користи за мерење.

Величина је стварна нумеричка вредност мерења (нпр. 45 или 0,237).

Јединица је однос броја према стандарду за количину (нпр. грам, кандела, микрометар).

Несигурност одражава систематске и случајне грешке у мерењу. Она представља опис поверења у тачност и прецизност мерења која се обично изражава као грешка.

2.1 Директна и индиректна метода мерења

Мерење било које величине обухвата два параметра:

- величину вредности и
- јединицу мере.

Мерење неког објекта може се вршити:

- директним мерењем или
- индиректним мерењем.

Директно мерење се односи на мерење тачно онога што тражите да мерите, док индиректно мерење значи да мерите нешто мерењем нечег другог, [4].

У физици, постоје неке ствари које је лако мерити директно. То су ствари као што су тежина, удаљеност итд. На пример, за мерење дужине комада дрвета, потребно је само измерити његову дужину директном методом, али за нешто што је мало теже измерити, као што је на пример брзина ветра, користи се индиректна метода. Можда неће моћи да се измери стварна брзина ветра, али помоћу ветрењаче може се измерити колико снаге она производи. Затим, користећи те информације, радећи уназад може се схватити колика брзина ветра мора бити.

2.1.1 Директна метода мерења

У методи директног поређења, директно упоређујемо количину са примарним или секундарним стандардом (договорена јединица мерења), тј. вредност се одређује директно на делу који се мери. На пример, ако морамо измерити дужину шипке, мерићемо је помоћу мерне траке или скале која делује као секундарни стандард. Овде упоређујемо количину која се мери директно са стандардом, [5].

Чак и ако упоредите директно са секундарним стандардом, није неопходно да знате основни стандард. Примарни стандарди су оригинални стандарди направљени од одређених стандардних вредности или формула. Секундарни стандарди су направљени од примарних стандарда, али већину времена користимо секундарне стандарде за поређење јер није увек могуће примарне стандарде применити из тачности, поузданости и трошковне тачке гледишта. Нема разлике у измереној вредности количине да ли се користи директна метода поређењем са примарним или секундарним стандардом.

Примери у овом контексту су поређења дужине са скалом или поређење масе са балансираним тежинама као што је баланс снопа. Други типични примери директних мерења су мерење напона или електричне струје и мерење температуре помоћу живиног термометра. Према томе, директна процедура мерења је директно поређење и стога се назива и метода поређења, [6].

Метода директног поређења није увек тачна. Постоји ограничена тачност којом наше око може да чита читавања, која могу бити око 0,01 инча. Овде се грешка не дешава због грешке у стандардима, већ због људских ограничења у бележењу читања. Слично томе, када меримо масу било ког тела упоређујући се са неким стандардом, веома је тешко рећи да су оба тела тачно исте масе, јер нека разлика између ова два, без обзира на то колико је мала, мора да постоји. Према томе, у директној методи мерења увек постоји нека разлика, ма колико мала, између стварне вредности количине и измерене вредности количине, [5].

2.1.2 Индиректна метода мерења

Тамо где директно мерење није могуће, користи се индиректни метод мерења. Вредност која се мери се добија мерењем других величина, при чему се мора знати однос између физичких величина. На пример, одређивање брзине помоћу формуле "брзина = пут / време". Пошто се ова врста мерења заснива на референци, индиректни метод мерења се такође назива мерење поређења, [6].

Постоји одређени број количина које се не могу директно мерити коришћењем неког инструмента. На пример, не можемо директно да измеримо напрезање у шипци због примењене силе. Можда ћемо морати да забележимо температуру и притисак у дубоким дубинама земље или у неким удаљеним местима. У таквим случајевима користе се индиректне методе мерења, [5].

У индиректној методи мерења користи се нека трансдукциона направа, која се назива трансдуктор, која је повезана са ланцем прикључне апаратуре која чини део мерног система. У овом систему, количина која се мери (уноси) се конвертује у неку другу мерљиву количину (излаз) од стране сонде. Употребљени претварач је такав да су улаз и излаз пропорционални један другом. Очитавања добијена из сонде су калибрисана према односима између улаза и излаза, тако да је очитавање добијено из сонде стварна вредност количине која се мери. Такав тип конверзије је често неопходан да би се жељене информације учиниле разумљивим.

Индиректна метода мерења састоји се од система који осећа, претвара и коначно представља излаз из аналогije у облику помака или дијаграма. Излаз ових аналога може бити у различитим облицима и често га је потребно појачати да би га прочитао тачно и направио прецизно читавање количине која се мери. Већина претварача претвара механички улаз у аналогни електрични излаз за обраду, иако постоје претварачи који претварају механички улаз у аналогни механички излаз који се лако мери.

2.2 Инструменти за мерење

Мерни инструменти су мерни уређаји који претварају измерену количину или означену количину у индикацију или информацију, [7].

Мерни инструменти могу директно указати на вредност измерене количине која указује на једнакост на познату меру исте количине (нпр. равнотежа једнаке руке, или галванометар с нултим детектором). Они такође могу да укажу на вредност мале разлике између количине која се мери и мере које имају вредност веома близу њега (компаратор).

Мерни инструменти обично користе мерни след у којем се измерена количина претвара у количину која је видљива проматрачу (дужина, угао, звук, светлосни контраст).

Мерни инструменти се могу користити заједно са засебним материјалним мерама (нпр. равнотеже које користе стандардне масе за поређење непознате масе), или могу садржавати унутрашње делове за репродукцију јединице (нпр. прецизан навој, итд.)

2.3 Грешке мерења

Апсолутно тачно одређивање количине није могуће - увек постоји одређена варијација: грешка мерења. Ово се означава као разлика између измерене вредности количине и њене истинске вредности. Постоји неколико разлога за грешке у мерењу. То укључује грешке у инструментима, грешке у окружењу или људске грешке. Поред тога, прави се разлика између систематских грешака (узрокована погрешно калибрираним инструментом који утиче на сва мерења) и случајних грешака (природне грешке које се очекују са било којим експериментом), [1, 8].

Секвенцијално, да би се разумео концепт грешака у мерењу, треба знати два термина који дефинишу грешку. То су права вредност и измерена вредност. Праву вредност немогуће је открити експерименталним средствима. Може се дефинисати као просечна вредност бесконачног броја измерених вредности. Измерена вредност се може дефинисати као процењена вредност праве вредности која се може наћи узимањем неколико измерених вредности током експеримента, [9].

Различите грешке мерења укључују, [10]:

- Апсолутна грешка - количина грешке у мерењу.
- Највећа могућа грешка - дефинисана као једна половина мерне јединице.
- Грешка инструмента - грешка узрокована нетачним инструментом.
- Маргиналне грешке - износ изнад и испод вашег мерења.
- Грешка локације мерења - узрокована постављањем инструмента на неко место.
- Грешка оператера - људски фактори који узрокују грешку.
- Процентуална грешка – представља однос између апсолутне и измерене грешке.
- Релативна грешка - однос апсолутне грешке према прихваћеном мерењу.

3. Димензиона мерења

Димензионално мерење је како познајемо и квантификујемо величина и облик ствари. Она укључује дужине и углове, као и геометријска својства као што су правост и равност. Мерење димензија је од суштинског значаја за међусобну заменљивост и глобалну трговину. На тај начин осигуравамо да се ствари уклапају заједно. Без глобалних стандарда дужине као основе за стандардизоване делове глобализована индустрија не би била могућа, [11].

Мерење димензија је такође кључно за осигурање да производи раде како је планирано. На пример, чврстоћа конструкција се израчунава коришћењем мерења као што је дебљина прирубнице или распон греде. Неизвесност у овим мерењима повећава несигурност чврстоће. Ово је веома важно за безбедносно критичне структуре, на пример крило авиона или мост. Други пример како мерења утичу на перформансе производа је аеродинамика. Ако тело аутомобила или крила авиона није у тесној вези са аеродинамичном формом која је оптимизована у тестирању у ваздушном тунелу, онда перформансе неће бити очекиване.

Димензионална метрологија је и даље кључ у фундаменталној науци. На пример, у физици честица, експерименти акцелератора тренутно зависе од детектора праћења са сензорима постављеним на микронском нивоу преко 10 метара, док ће следећа генерација извора светлости и колидери високе енергије захтевати веома прецизно позиционирање магнета преко 10 километара. У астрономској димензији мерење је такође критично са најтачнијим оптичким телескопима који захтевају веома велика огледала са суб-микронском тачношћу. Наука о мерењу димензија је метрологија димензија. Ови термини се често користе наизменично.

Посебан фокус је на димензијама: дужине, углови, правост и равност итд. Међутим, фундаментални принципи, посебно процена несигурности, могу се применити на било који облик мерења.

3.1 Мерење дужине

Мерење дужине је можда оно о чему већина људи размишља када размишљају о мерењу, [11].

Ниједан физички закон не диктира дужину метра. Јединице дужине су произвољне. Оно што је важно је да сви користимо конзистентне јединице тако да се делови уклапају заједно, тестови прототипа се примењују на производне производе и резултати различитих експеримената се односе једни на друге.

Састављање делова је можда најстарија употреба мерења. Људи су прво користили делове тела да пренесу дужину једне ствари на другу. На пример, када су људи из каменог доба градили склониште, можда су користили дужину својих руку да би измерили размак између два стабла и онда одсекли грану како би уклопили.

Како су друштва постајала сложенија, стандардизоване мере су биле потребне. На пример, приликом изградње пирамида, хиљаде камења изрезаних из удаљених каменолома требало је да се уклопе на лицу места.

Краљевски кубит је дефинисан као удаљеност од фараоновог лакта до врхова прстију, али је као примарна референца коришћена краљевска јединствена шипка Ројал Кубит. Геодети и каменоклесари би затим могли да упореде (калибрирају) своје дрвене коцкасте шипке са овим краљевским стандардом. Овај систем следљивости до стандарда физичке дужине трајао је око 5000 година.

Метар је био први међународни стандард дужине и дефинисан је као $1/10^7$ удаљености од Северног пола до Екватора. Међутим, као и код Ројал Кубит-а, када су направљена мерења Земље и створена физичка шипка за мерење, управо је та шипка постала стандард према којем су мерења калибрирана. Тек до 1960. године стандарди физичке дужине су коначно замењени новом дефиницијом мерача заснованом на таласној дужини светлости.

1960. метар је редефинисан као 1.650.763,73 таласне дужине наранцасто-црвене емисијске линије у електромагнетном спектру атома криптон-86 у вакууму. Ово је замењено 1983. са тренутном дефиницијом, удаљеност коју је светлост превалила у вакууму током $1 / 299,792,458$ секунде.

3.2 Мерење угла

Мерење угла не захтева референтни стандард, круг се једноставно може поделити да би се добили тачни углови. У комбинацији са релативно малом дужином референтног угаоног мерења, такође се може користити за продужено мерење дужине на великим удаљеностима и удаљеним објектима. Такође пружа практичне начине мерења 3Д координата, [11].

Јединице мерења угла су делић комплетног круга. Одлука да се круг подели на 360 степени је произвољна, може се користити било који број, али када се договори број, није потребан додатни референтни стандард.

Углови се могу извести из принципа геометрије. На пример, троугао се може конструисати са дужинама од 3, 4 и 5 јединица како би се пронашле перпендикуларне линије користећи било који објекат који даје конзистентну дужину.

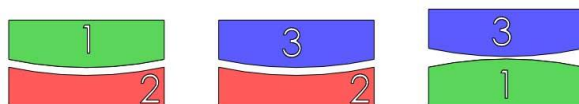
Други приступ у проналажењу правоугла је да се гледа дуж маркера, а затим да се преокрене смер посматрања, овај приступ се може применити коришћењем једноставног мерног инструмента, званог Грома. Грома се користила у Бабилонији, древној Грчкој, античком Риму и средњовековној Европи. Геометар би измерио равне линије и праве углове између шипки у земљи тако што би гледао дуж линија виска. Могуће је демонстрирати само-компензацију и употребу Грома једноставним експериментом да се направи Грома од картона и игала за цртање. Грома је омогућила прецизно испитивање правих линија и правих углова.

Развој мерних инструмената је укључивао понављање кругова, теодолита, енкодера са стакленом скалом и ротационих столова. Мање прецизно мерење угла развијено је коришћењем синусних шипки, угаоних блокова и угаоних интерферометара.

3.3 Правост и равност

Правост и равност су важне у конструкцији машина и инструмената, као и у употреби конвенционалних инструмената, [11].

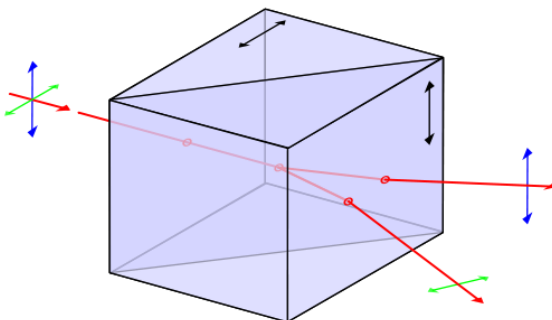
Праве ивице и равне површине, као и углови, могу се извести из принципа геометрије и не захтевају било који референтни стандард. Ова област мерења димензија је веома важна у конструкцији машина и инструмената. На пример, равна површина се може произвести спајањем три површине заједно. Преклапање у основи значи трљати заједно. Прве две површине се заједно трљају да би се створиле глатке површине. Међутим, могуће је да једна од њих буде конкавна а друга конвексна као што је приказано на слици 3.1. Када се трећа површина преклопи на другу, закривљеност се може пренети на ову трећу површину. Међутим, када се трећа комбинација две површине споји заједно, то ће уклонити било коју закривљеност и произвести равну површину. Овај процес се понавља све док се не постигне жељена равност.



Слика 3.1. Три површине се могу спојити да би се добиле равне површине [11]

Индустријски произведене праве ивице и равне површине се, наравно, генерално не производе међусобно преклапањем три површине. То би било превише времена. Алатни стројеви су израђени тако да имају низ равних оса које су нормалне једна на другу. Као део традиционалног машинског процеса и процеса калибрације, ове осовине би се поредиле са правим ивицама и равним површинама. Ове референце би биле направљене помоћу процеса преклапања. Могло би се, дакле, рећи да је постојао ланац следљивости за равност са преклапањем три површине заједно као примарни референтни стандард.

Машине се све више калибрирају ласерским интерферометрима као референцом за равност. На пример, неполаризовани ласерски извор може се поделити на две ортогонално поларизоване греде користећи Воластонову призму (слика 3.2). Свака од ових греда се затим може усмерити на угаони рефлектор тако да се враћа дуж исте путање. Свако кретање рефлектора нормално на смер оригиналног снопа ће онда резултирати променом релативне дужине путање две греде. Ово се може детектовати интерферометром за бројање ивица.



Слика 3.2. Воластон призма раздваја неполаризовано светло на два ортогонално поларизована снопа [11]

3.4 Врсте алата за мерење димензија

Приликом производње делова и машина са високом прецизношћу, важно је проверити да ли компонента одговара димензијама и толеранцијама које је одредио пројектант. Тип уређаја за контролу димензија који се користи за одређену примену зависи од више фактора, укључујући, [12]:

- потребан ниво тачности,
- да ли се објект може додирнути током процеса мерења,
- физичке и површинске карактеристике објекта,
- транспарентност или непрозирност објекта.

Опрема за контролу димензија спада у 6 главних категорија:

Ручни алати

Ови уређаји су најосновнији, универзални тип мерне опреме. Ручни алати остају веома корисни за већину премена за испитивање димензија. Показатељи бирања, дигиталне чељуст, микрометри и мерне траке често ће бити ваша најбоља опција, јер су високо преносиви, лако доступни и приступачни, [12].

Пнеуматско мерење

Такође познати и као мерачи ваздуха, ови алати користе ограничење ваздуха и резултујућу промену протока или притиска за мерење димензије, обично спољашњег пречника или отвора. Мерење зрака је брз, безконтактни начин провјере и опћенито је одређен за обрадке с толеранцијама од 0,005 инча или мање. Резолуција и поновљивост мерења могу бити у милионитима инча. За многе примене потребна је специфична алатка, тако да се мерачи ваздуха обично користе за мерење производних делова који се производе редовно, [12].

Машине за координатно мерење (СММ)

Оне се крећу од лаганих преносивих руку до великих, тешких машина са гранитним структурама које захтевају посебне темеље и контролисане средине. У већини случајева, контактна сонда се програмира или ручно помера док не додирне површину која се мери. Рачунар СММ-а претвара физичку позицију у дигиталну локацију унутар вишеосног координатног система. Трошкови, радни обим, тачност и поновљивост ових система се веома разликују. Неки СММ-ови могу мерити велике делове с тачношћу од неколико микрона. Контактне сонде се не могу користити са предметима који имају еластичну површину или површине које су превише деликатне или чисте на додир током процеса мерења. На располагању су бесконтактне оптичке сонде за многе модерне СММ-ове који се могу користити у овим ситуацијама, [12].

Оптички системи

Ови системи се разликују по величини, увећању и прецизности. Без обзира да ли је систем мерни микроскоп величине десктопа или велики оптички компаратор, они користе светло и оптику да би одредили димензију засновану на профилу објекта у видном пољу инструмента. Ови системи се такође могу користити да би се објекат упоредио са жељеним стандардним обликом или димензијама помоћу мерне мреже, [12].

Системи засновани на светлости

Друга категорија бесконтактне инспекције користи структурно светло (ЛЕД) или триангулацију ласерске линије за мерење на радном комаду. Структурни светлосни скенери узимају низ слика с различитим узорцима светла који се пројектују на површину објекта како би се створио потпуни 3D облак тачака геометрије стационарног објекта. Ако се објекат значајно помера током процеса прикупљања података, могу се појавити грешке у резултатима. Амбијентално светло такође може имати значајан утицај на перформансе ових система. Ласерски триангулациони скенери прикупљају низ профила из ласерске линије док се објекат креће поред видног поља сензора. 3D паметни сензори са уграђеним софтвером могу се користити за аутоматско састављање вишеструких профила у комплетну 3D мапу површине објекта. Амбијентално светло је мањи проблем, док је сигурност ласера забрињавајућа, [12].

Системи за мерење засновани на виду

Ови бесконтактни инструменти за мерење користе уређај за пуњење (CCD), светло, сочива и аналитички софтвер за производњу и процену слике високе резолуције. Систем аутоматски проналази ивице и може се постићи прецизност на микронској скали. Системи засновани на виду се често користе за контролу квалитета које захтевају висок ниво тачности и прецизности, а истовремено производе брзе и поуздане резултате, [12].

4. Бесконтактна мерења

Мерење без контакта игра важну улогу за произвођаче у данашњем свету инжењеринга. Данас постоји тренд раста минијатуризације, посебно у електроници, медицинским уређајима и рачунарској индустрији. Због своје мале природе, мали делови су често склонији контаминацији, деформацији или оштећењу чак и благим додиром са сондом. Системи бесконтактне инспекције који укључују ласер, видео и оптику обично решавају овај проблем, [13].

Фактори које треба узети у обзир приликом одабира контактних и неконтактних инспекцијских система укључују квалитет делова, оперативно поједностављење, контролу процеса и следљивост, трошкове, тачност, поновљивост, пропусност мерења и лакоћу документације.

За разлику од бесконтактне инспекције, многи традиционални уређаји за мерење контакта, као што су микрометри и мерне направе, додирују површину како би одредили димензије компоненте. Када мерни уређај физички додирује део који мери, уводи се низ недостатака. Прво, део може бити оштећен или обележен. Друго, ако је део непокретан, заквачен или дизајниран за кретање, контакт ће вероватно довести до инхерентно нестабилног резултата мерења који је мало вероватно да ће бити поновљив или произвести конзистентне резултате када се прикупљају додатна мерења.

Поред тога, уређаји за мерење контаката често имају мало могућности за излаз података о мерењу, што значи да оператори морају да запишу резултате или да их ручно унесу у рачунар. Ово је веома напорно и склоно грешкама, како у смислу тумачења, тако и у смислу инпута.

Већ дуги низ година, оптичке бесконтактне мере су пронађене у инжењерским радионицама у виду сенфографског или профилног пројектора. Ови системи су радили тако што су приказивали увећану слику на скали. Компоненте су или однесене на машину да би се одредиле, припремиле и затим измериле, или су биле исечене да обезбеде узорке и постављене на светлосни сто. Ово би показало пројекцију његовог облика у много већој мери, тако да би се површински услови могли визуелно прегледати.

Рани дизајни су били једноставно уређаји за визуелну проверу, иако су касније верзије имале и неке могућности дигитализације са додатним електронским мерењем. Ипак, процес је био спор и није одговарао унутрашњој инспекцији. Данас, са модерним развојем, бесконтактно мерење је развијено тако да укључује далеко напредније методе снимања и инспекције, укључујући ручне оптичке алате за мерење. То значи да се тачни и поновљиви подаци могу постићи брже и једноставније.

Прерађивачка индустрија постаје све сложенији процес. Производи постају сложенији и са строжим толеранцијама. Разноврсност материјала са којом се производе производи и даље се развија и производи морају бити направљени на економичан и поуздан начин. Бесконтактно мерење нуди могућност брзог процењивања интегритета или профила дела без додиривања површине. Ако се површина искривљује под притиском, бесконтактна инспекција нуди методу за мерење и процену површина како би се осигурала континуирана контрола квалитета у свакој тачки производног процеса.

Инспекција производа у индустрији и даље игра важну улогу у побољшању квалитета и смањењу отпада. Бесконтактни инспекцијски системи нуде брзину, прецизност и флексибилност које конвенционалне методе не могу, [14].

Бесконтактни сензори обезбеђују дуготрајну употребу, због недостатка хабања сензора, а у неким случајевима је и једина опција за мерење, где конвенционалне технике контакта могу оштетити и геометријски изменити део који се прегледа.

Бројни различити инспекцијски системи у прошлости су описани од стране великог броја истраживача, што указује на проблеме повезане са овом методом инспекције. Метода осветљавања, посебно под углом у односу на правац посматрања, омогућава добијање топографских информација. Ово осигурава да се могу уочити површинске карактеристике које је иначе тешко открити.

Најчешће методе инспекције за делове данас укључују контактне и неконтактне инструменте као што су системи за визионирање машина, микроскопи и координатне мерне машине. Безонтактни инспекцијски системи укључују ласерске микрометре, машине за мерење вида, профилне пројекторе и микроскопе. Сви ови инструменти омогућавају мерење малих делова без додиривања.

Као што можете видети, бесконтактни системи су много бржи од механичких система. Посебно се користе за високе брзине узорковања, поготово ако се ради о вишеструким осама, особинама које су постављене у обрасцима или десетинама значајки. Механички уређаји са контактом, с друге стране, прелазе део тачке до тачке која успорава ствари. Контролни системи без контакта су идеални за осетљиве делове при руковању посебно хируршким инструментима и опасним материјалима.

4.1 Примена бесконтактних мерења

4.1.1 Инжењерска индустрија

Велики број примена бесконтактних мерења лежи у области индустријског инжењеринга. То укључује низ примена као што су оне у аутомобилској индустрији и индустрији лима, где је поновни преглед за одржавање квалитета производа од велике важности. Ефикасно коришћење аутоматизованог инспекцијског система ће осигурати да се неисправни или оштећени предмети не пропуштају кроз систем, [14].

Поред тога, многе друге масовно произведене компоненте произведене у оквиру прерађивачке индустрије могу бити прегледане на овај начин. Превише да би се тога могло поменути. То укључује и преглед стаклених боца и сијалица, где је подеднако важно препознавање пукотина или прљавштине на стаклу, као и грешке у неразрезаним жицама или неразареним контактима у односу на примену сијалице.

4.1.2 Микроелектронска индустрија

Традиционалне методе мерења, као што су мерни чепови и троосне координатне мерне машине, нису практичне у случају штампаних плоча са електричним колом. Такве методе су споре. Само бесконтактни инспекцијски системи нуде брзину, прецизност и флексибилност који су потребни да би се ти типови мерења омогућили, [14].

4.1.3 Примена у медицини

Мерење људског тела, за различите примене у медицини и скринингу, као што је рано откривање сколиозе, болести кичме, је још једна примена бесконтактног мерења. Поред тога, користе се и за мерење хабања у различитим конструкцијама замене зглобова колена и кука, као и хабање стоматолошких испуна, [14].

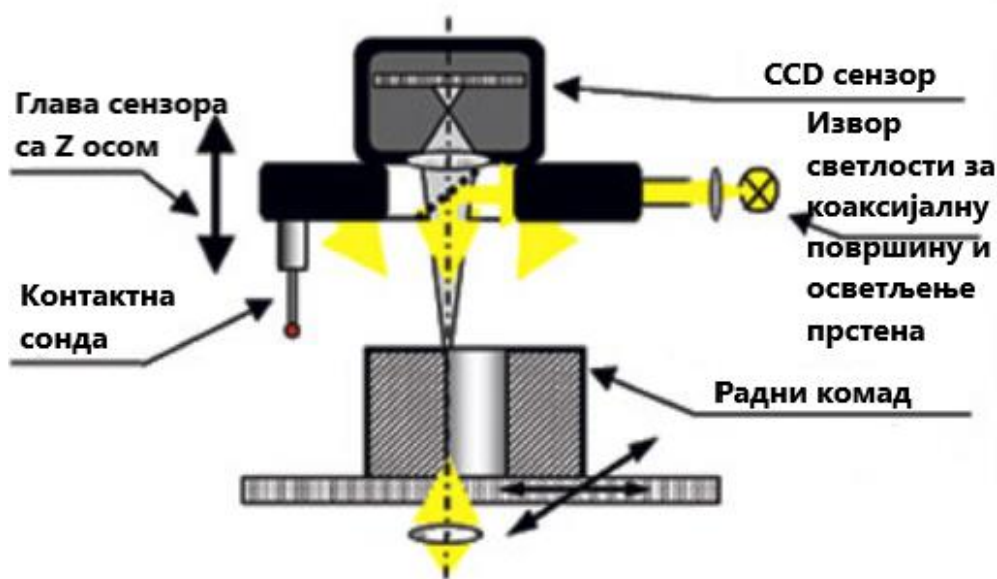
4.1.4 Прехрамбена индустрија

Инспекција воћа (нпр. јабуке) за површинске недостатке, као што је оштећење модрицама, је још једна апликација за бесконтактни инспекцијски систем. Тренутно, када се јабуке купују од узгајивача, њихов укупни квалитет се процењује случајним узорковањем. Способност економског откривања и разврставања модрица, омогућила би потрошачу квалитетнији производ, [14].

4.2 Оптичке методе мерења

Технике оптичких мерења су добиле повећану пажњу у посљедњих неколико година. Главни разлози за овај развој су брза побољшања у складиштењу и обради података, ласерској и полупроводничкој технологији. Поред тога, главна карактеристика која је заједничка свим оптичким техникама је неинтрузивност, што значи да мерења не утичу на истраживане системе на било који начин, као што конвенционалне сонде често раде. Ово такође подразумева могућност мерења где није било могуће раније. Због тога се очекује, узимајући у обзир даљи развој компоненти за оптичке сонде, да ће оптичке технике наставити да добијају на значају у многим новим областима примене, [15].

Дијаграм на слици 4.1 илуструје основе оптичког мерења: осветљење, оптика, XY фаза и Z оса која управља фокусом.



Слика 4.1. Оптичко мерење [16]

Осветљење се користи за осветљавање објекта или предмета који се мери. Постоје три основне шеме осветљења. Позадинско осветљење се користи за осветљавање дела у силуети ради мерења спољних профила и карактеристика као што су пробојне рупе. Директно осветљење је интегрисано у путању оптичког снопа и осветљава део из директног вертикалног угла. Прстенасто светло је извор светлости који се монтира око оптике и осветљава радни предмет под индиректним угловима, [16].

Оптички сензор има сет објектива кроз које пролази рефлектовано светло (или директно светло у случају позадинског осветљења). Светло је фокусирано на фотоапарату који садржи оптички чип или CCD. CCD има низ пиксела који је осетљив на светлост. Чип претвара вредност интензитета светлости за сваки пиксел у електронски сигнал са одговарајућом вредношћу за сваки пиксел. То се назива “вредност сиве скале”

и представља број између 0 и 255. Софтвер проналази ивицу одређујући где се вредност сиве скале између два суседна пиксела драстично мења. Софтвер заузима положаје ових ивица на оптичком сензору и компилира га са XYZ позицијом мерне машине како би обезбедио координатне локације. Систем за тражење ивица повезује неколико ових граничних тачака заједно како би створио ивице или контуре карактеристика делова.

Мерења се врше у Z оси користећи контраст или “аутофокус” метод. Аутоматски циклус ће померити Z осу машине и тиме фокалну тачку оптике кроз површину дела. Бројне слике се снимају и процењују за контраст. Слика има најбољи контраст када је тачно у фокусној равни. Избором слике са најбољим контрастом и познавањем Z положаја осовине за ту слику и калибрисане удаљености фокалне тачке оптике може се израчунати висина дела у било којој XY позицији.

4.2.1 Предности оптичких мерења

Значајна разлика између оптичког мерења и мерења на додирној сонди је у томе што се методом сондирања на додир налазе рубови делова израчунавањем пресека равнина и других карактеристика на основу неколико тачака. Оптика може директно да пронађе ивице. Системи са сензорским сондама ограничени су у својој анализи количином бодова које прикупљају. Даље, свака тачка једе на драгоценом времену циклуса мерења, јер свако мерење захтева да се сонда прилази, контактира, повуче и поново позиционира. Оптика може да сакупи на стотине тачака са сваком снимком. Свака карактеристика која се може оптички мерити може се мерити брже и прецизније због количине информација које се брзо прикупљају. Скраћује се и време програмирања за позиционирање машине, [16].

Предности оптичког мерења над оптичким компараторима, ручним мерачима, микроскопима и другим методама које зависе од оператера су очигледне. Аутоматизован систем, који се правилно примењује, може да добије контролу над временом циклуса, да обезбеди податке за статистичку анализу и контролу у реалном времену и да елиминише утицај оператера на податке.

4.2.2 Недостаци оптичких мерења

Очигледно, постоје одређене карактеристике које оптика не може мерити. Цилиндричност и сужавање у бушотинама се не могу мерити оптички. Перпендикуларност вертикалних страна према хоризонталним површинама не може се мерити без додатних трошкова, ротационих оса или правоугаоне оптике. Тако долази до појаве и истакнутости мултисензорске координатне мерне машине (MS-CMM), [16].

Један недостатак аутоматског оптичког мерења, односно мерења СММ-а уопштено, насупрот ручним методама може бити време циклуса. Ако је потребно само неколико димензија, може бити брже да их једноставно преузмете ручно. Аутоматизована мерења захтевају одређено време за поравнање делова пре него што се догоди било какво мерење. Ово се често може превазићи креативним програмирањем или вишеструким фиксирањем.

Веза између људског ока и мозга је моћан, чак и нетачан систем. Са оптичким компараторима, особа може да филтрира рупе и крхотине и може осигурати да је одабрана исправна контура. Софтверски систем иза оптичког сензора би требао бити, али није увек једнако способан.

4.2.3 Примена оптичких мерења

Оптичко мерење веома добро функционише за равне делове који се могу мерити у силуети. Тешко их је измерити са сензорима за додир, јер је мала површина контакта доступна на странама равних делова. Различити скок у сивој скали олакшава софтверу да одреди ивицу. Исто важи и за 2D профиле, као што су попречни пресеци. 3D делови са малим карактеристикама, посебно када су у питању уске толеранције, су добри кандидати за оптичко мерење, јер није потребан контакт на уским местима са оптиком. Исто тако, гумени или пластични делови који се лако одбијају и искривљују најбоље се мере са бесконтактном оптиком, [16].

4.3 Системи мерења засновани на светлости

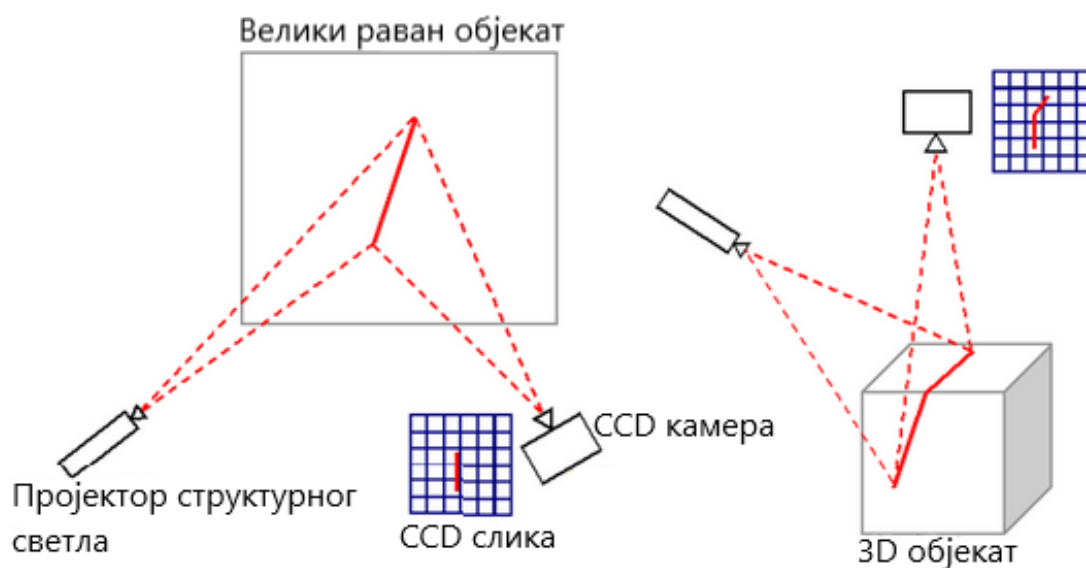
Процена удаљености, величине или облика објекта је од велике практичне важности у свакодневном животу, [17].

Прецизно и квантитативно одређивање удаљености помоћу светла има много практичних примена у савременом животу. Мерења од тачке до тачке дају 3D слике важне у, на пример, изради мапа (удаљености у километрима), контроли квалитета монтажне линије (удаљености у метрима) или микроскопији (удаљености у микрометрима).

Развијене су бројне активне и пасивне технике за добијање 3D слика, али ће дати метод припадати једној од три главне технике: геометријској, времену лета или интерферометрији. Геометријска техника, као што је триангулација, ослања се на просторну геометрију између извора светлости, мете и детектора. Време лета метода зависи од коначности брзине светлости и наше способности да меримо време лета или директно мерењем времена или индиректно, на пример, поређењем фазе емитоване и рефлектоване светлости модулисане интензитетом. Интерферометрија се ослања на таласну природу светлости и способност таласа да интерферирају.

4.3.1 Структурно светло

Скенирање по тачкама захтева много времена. Бржи приступ, иако укључује сложенију анализу података и рачунање, је да осветли циљни објекат структурним светлом - једну линију или узорак линија (нпр. паралелне линије или мрежу) и помоћу 2D сензора слике детектује рефлектовани узорак. Слика 4.2 илуструје концепт. На левом панелу, светлосни пројектор баца равну светлосну линију на равну metu. Овде је CCD слика пројекције такође равна линија. У десном панелу, пројектована светлосна линија је по величини упоредива са структурним карактеристикама циљног објекта (коцка, у овом примеру). Слика пројекције неће бити равна линија (за већину конфигурација пројектора / камере). За фиксне локације пројектора / камере, облик слике зависи од облика објекта. Може се развити математички алгоритам да би се одредио облик циља с обзиром на геометрију улаза и структурну светлост, [17].



Слика 4.2. Концепт добијања 3D информација помоћу структурног светла [17]

У практичној примени структурног светла, постоје два приступа генерисања структурног светла. Први користи два ласера широког снопа чија светлост генерише интерференчни узорак, без геометријских изобличења, на мети. Променом угла између две греде може се генерирати широк распон узорака с великом оптичком дубином. Имплементација овог приступа је тешка јер је геометрија интерференцијског узорака веома осетљива на релативну оријентацију две греде. Још један недостатак је висока цена. Други распоред осветљења, јефтинији од првог, користи видео пројектор, који пројектује светлећи узорак од, на пример, дисплеја са течним кристалима, на циљ помоћу сочива и огледала. Компромис за нижу цену је већи степен геометријских изобличења у пројектованом структурном светлу и пикселираним ивицама шаре ако слика долази од пикселираног уређаја као што је дисплеј са течним кристалима. Када се анализирају подаци, геометријске дисторзије уведене пројектором и систем детекције морају се исправити, што математички алгоритам чини сложенијим. Практичне примене структурног светла су различите, од видео игара, преко модне индустрије (производња одеће по мери), до форензике (прикупљање отисака прстију).

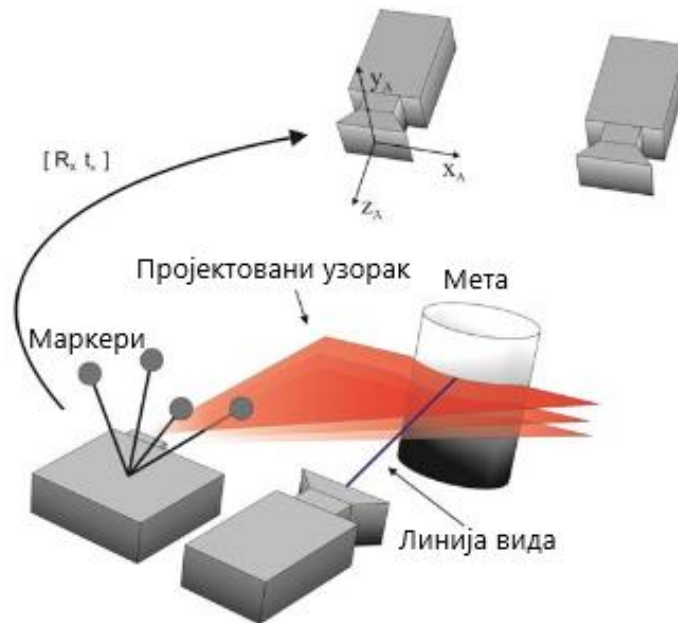
4.4 Системи за мерење засновани на виду

Системи засновани на виду имају предности у односу на друге сензоре, на пример, једноставна инсталација, даљински бесконтактни рад и дистрибуирани сензор који промовише коришћење једне камере за симултано мерење у више тачака, , [18].

Систем за мерење помака заснован на виду обично се састоји од маркера, камере и компјутера. Маркер је специјално дизајнирана плоча која се снима фотоапаратом. Видео ток покрета маркера снимљен камером преноси се на рачунар у реалном времену. Пренесени видео ток се затим интерпретира као структурални помак кроз обраду слике у компјутеру. Од сваког снимљеног кадра, карактеристичне тачке се прво претражују помоћу алгоритама за детекцију карактеристика.

Важно разматрање током развоја система било је обезбеђивање набавке великих објеката и скривених или покривених површина са великом прецизношћу. У ту сврху активна технологија оптичког скенирања комбинована је са системом праћења који је заснован на више камера и који је приказан на слици 4.3. Активни оптички скенер састављен је од камере и пројектора који прати систем са више камера. Тако се CP систем

може репозиционирати тако да се осигура и стицање комплексних површина. Да би се осигурало лако праћење, активни ЛЕД маркери су контролисани од стране софтвера. Ово решење подржава њихову недвосмислену идентификацију чак и ако услови осветљења нису одговарајући. Принцип рада система може се декомпоновати на следеће кораке:



Слика 4.3. Архитектура система [18]

Прво, систем мора бити калибрисан, тј. одређени унутрашњи и спољашњи параметри камера и пројектора (који се сматрају моделом инверзне камере). Калибрација игра најважнији део система. Пошто предложени систем има бројне компоненте (камере за праћење, пројектор, камере за добијање осветљене површине), прецизност у великој мери зависи од прецизности калибрације поменутих елемената као и од тачности процењених односа координатних система. Сви ови фактори имају значајан утицај на излаз целог система, стога је важно размотрити их с високим приоритетом. Калибрација система се може декомпонирати на три главна дела, тј. калибрацију камера, калибрацију пројектора и процену односа између сонде и светског координатног система. Након процеса калибрације система, мерење се може започети.

Активни маркери се детектују и идентификују, након чега следи процена њихове просторне локације која се користи за процену релативне ротације и промена СР система у односу на почетну референтну вредност.

Затим се на циљну површину пројектује такозвани ротиран сиви шаблонски узорак, а на основу пресека на равној равни одређују се 3D координате сваког пројектованог пиксела. Сходно томе, добијене 3D тачке се трансформишу у светски координатни систем.

4.5 Технике бесконтактнoг мерења геометрије површине

Постоје бројни случајеви у којима је неопходно бити у стању тачно измерити геометрију објекта. Данас, већина производне индустрије користи CAD пакете за дизајнирање делова, ови компјутерски модели се затим користе за контролу глодалица, које модификују део. Међутим, често се дешава да не постоји CAD модел, обично зато што је део ранијег датума од употребе CAD пакета, [19].

Стога је неопходно конструисати модел из узорка (или делова). Израда CAD модела често може бити мукотрпан процес, посебно када се део мора уклопити у постојећу опрему. Стога је корисно да се може аутоматски конструисати модел из физичког објекта. Ово се у суштини своди на мерење скупа тачака на површини објекта, из којих се може конструисати површинска репрезентација (као што је триангулирана мрежа или површинске мрље).

Често се дешава да употреба техника за мерење контакта, као што су мерила, микрометри или координатне мерне машине (СММ) није применљива, обично због крхке природе објекта или инхерентног ограничења брзине таквих мерних техника. Једна таква област је археолошка област, где су артефакти често деликатни и са њима се мора поступати пажљиво како би се смањио ризик од непоправљиве штете. Остале области обухватају контролу квалитета деликатних делова машине, као што су компоненте за диск јединице или штампане штампане плоче.

Начин рада система за мерење површине (SMS) класификује систем према основном начину на који добија своје податке. Постоје три основне групе у којима се систем може поставити: тачка, линија и мрежа.

Технике базиране на тачкама

За технике се каже да се заснивају на тачкама ако се врши мерење на основу тачке по тачку. То значи да добијемо само једно мерење за сваки циклус. Они функционишу на сличан начин као СММ, тј. они врше мерења на секвенцијалан начин, који захтева пуно кретања уређаја. Технике засноване на тачкама често се проширују како би се обезбедио потпунији скуп података (као што су линије или мреже). Како се подаци добијају секвенцијално, површина мора бити стабилна током трајања мерења. Такође, механички / оптички уређаји који су потребни за скенирање, могу повећати величину, сложеност и тежину и могу учинити систем осетљивим на вибрације, [19].

Технике базиране на линијама

Технике засноване на линијама су оне које обављају низ мерења, у линији преко површине, у једном пролазу. Пошто се све тачке мере паралелно, ове технике су обично брже од тачкастих. Као и код техника базираних на тачкама, оптика се може користити за обављање прелета по површини, пружајући мрежу читавања. Такође, ово захтева да површина буде стабилна током трајања мерења и дозвољава објекту да се креће линеарно преко сензора, као што је на транспортној траци, [19].

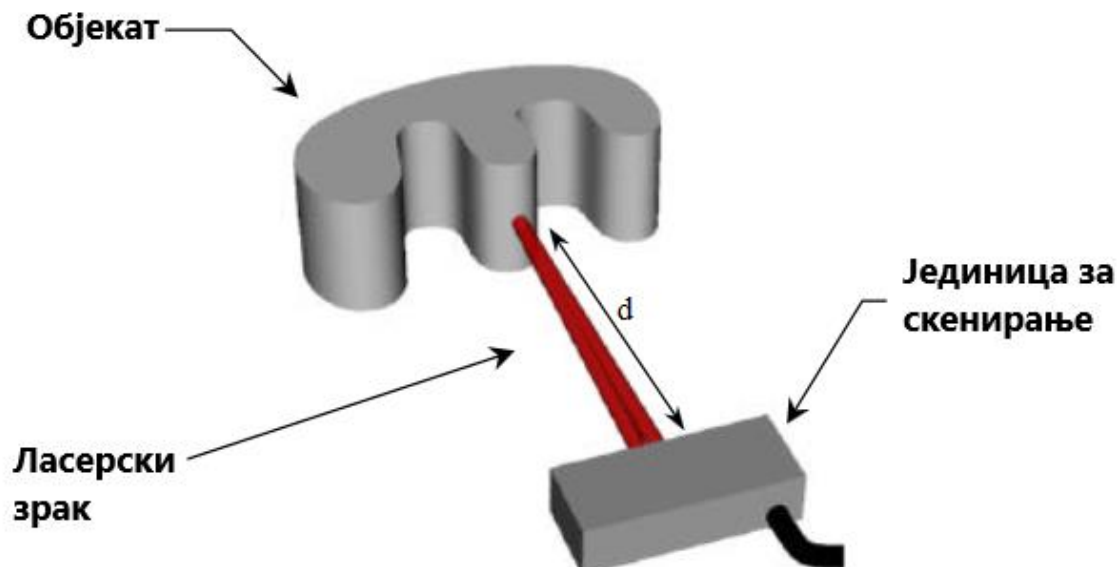
Технике базиране на областима

Технике базиране на површини пружају најфлексибилнију форму података, мерења су организована у мрежи по површини. Ове технике су обично много више укључене и обично захтевају више слика субјекта, што значи да оне обично нису истински истовремене, [19].

4.5.1 Технике базиране на тачкама

Време лета (ласерско проналажење опсега)

Време лета користи време као замену за удаљеност. У случају ласерског проналажења опсега, приказаног на слици 4.4, ово је време потребно да светлосни импулс путује уназад, рефлектујући се од површине, [19].



Слика 4.4. Време лета [19]

Прорачун удаљености од времена, ослања се на добро познату формулу:

$$\text{брзина} = \frac{\text{растојање}}{\text{време}} \quad (4.1)$$

Растојање до површине објекта је $\frac{1}{2}$ удаљености пута од светлосног импулса, тако да се ова једначина може преуредити у:

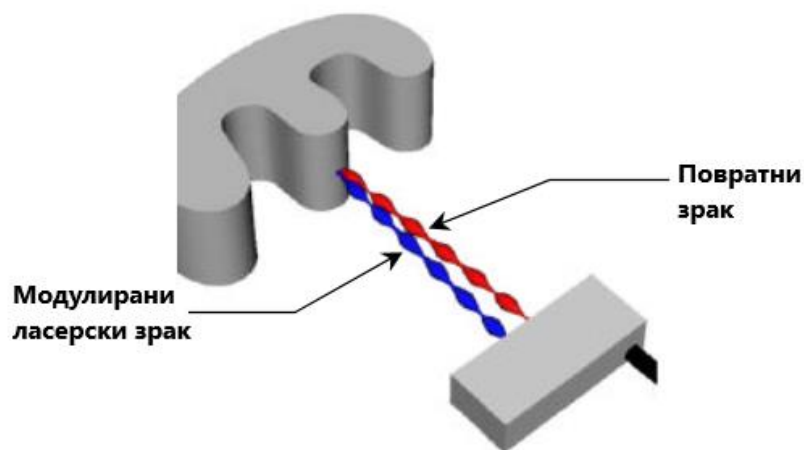
$$\text{растојање} = 1.5 \cdot 10^8 \cdot \text{време} \quad (4.2)$$

Како светлост путује са екстремно великим брзинама, потребно је веома софистицирано коло за мерење повратног времена ласерског снопа. Такође, ово утиче на тачност која се може добити из таквих система.

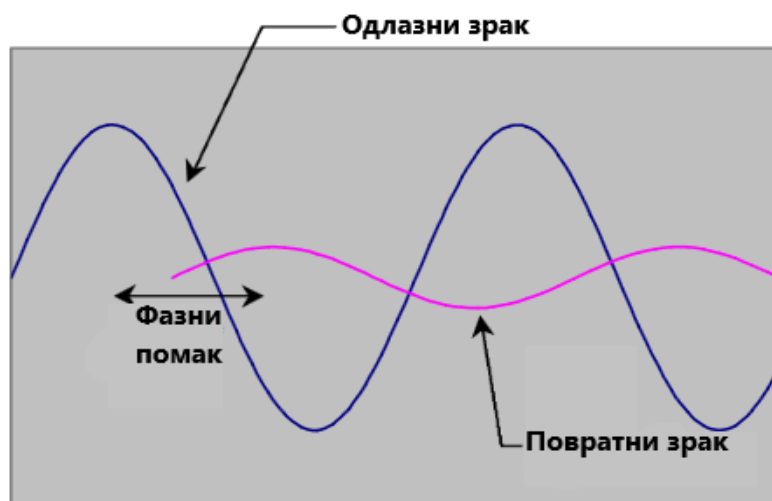
Како мерење користи ласер, ротирајуће огледало се може користити за скенирање линије преко површине. Тиме се омогућава да се изврше бројна (радијална) мерења у брзом следу. Ово повећава корисност система, али повећава и његову тежину.

Ласерски радар

Ласерски радар, приказан на слици 4.5, такође користи заменску меру за удаљеност. Фазни помак (слика 4.6) који доживљава амплитудно модулирани ласерски зрак, који се рефлектује на површину, може се повезати с удаљености калибрацијским кораком, [19].



Слика 4.5. Ласерски радар [19]



Слика 4.6. Фазни помак [19]

Структура система омогућава високу брзину преноса података, тј. она је способна да врши континуирана мерења. Међутим, подаци су често прилично бучни и садрже значајан број погрешних читавања.

Главна карактеристика ласерског радара је да је неспособан дати једнозначно мерење. Ово је резултат периодичне природе модулације, што резултира мерењима облика:

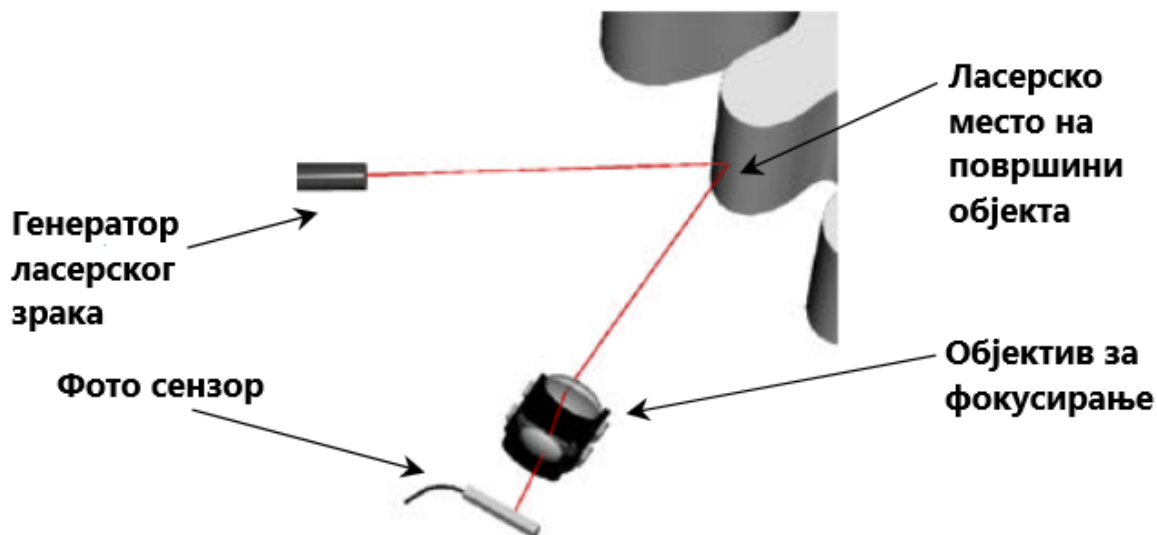
$$d = k \cdot n + f \quad (4.3)$$

где је n дужина периодичне функције (таласна дужина модулације), k је позитиван цео број, чија је вредност неухватљива, а f фаза.

Међутим, фреквенција модулације се може користити да се дефинише омотница, унутар које ће лежати читавања, што му омогућава да обезбеди читавања на великом домету. Као и код време лета оптике потребно је извршити скенирање линије или површине које могу повећати тежину и величину система.

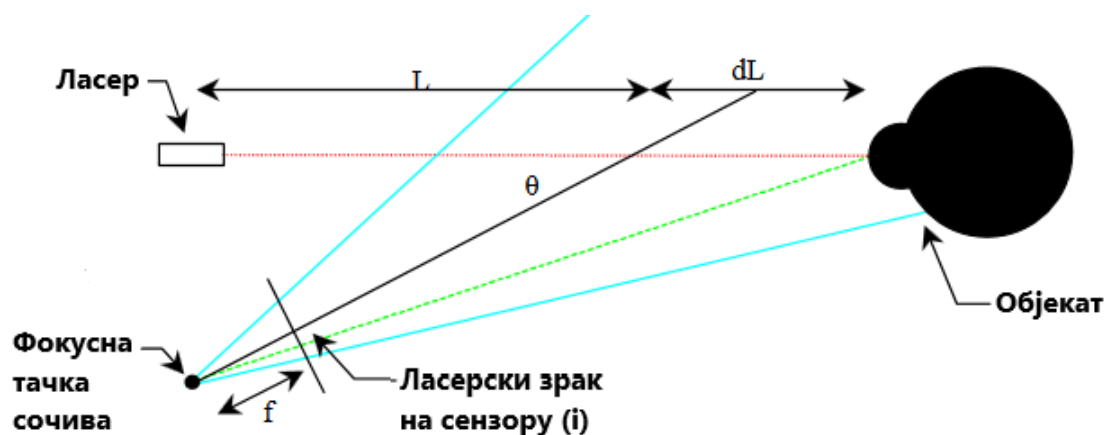
Ласерска триангулација

Триангулација је уобичајена техника за одређивање просторних односа (слика 4.7). Коришћена је у областима као што су картографија и систем глобалног позиционирања. Ласерска триангулација је техника активне структуриране светлости, у којој се посматра ласерска тачка (кроз сочиво) помоћу сензора, [19].



Слика 4.7. Ласерска триангулација [19]

Положај ласерске тачке на сензору је повезан са положајем површине (дуж снопа) помоћу триангулације, као што је приказано на слици 4.8.



Слика 4.8. Триангулација [19]

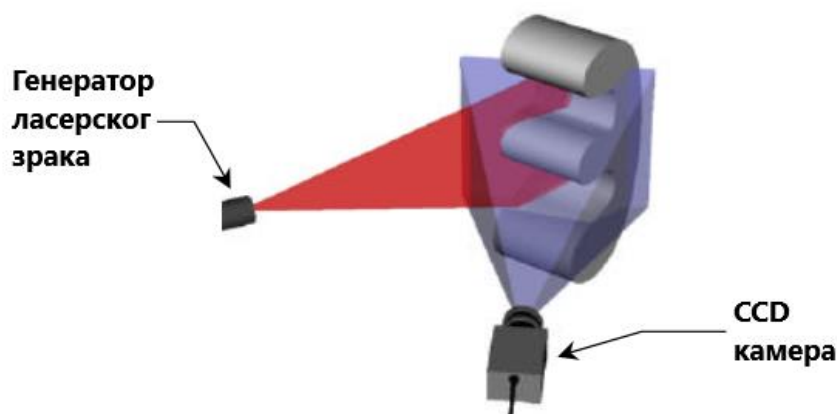
Угао триангулације (и сочиво) може се користити за постизање жељеног баланса домета и тачности. Код прецизно контролисаних огледала користе се за контролу основне линије за триангулацију. Пошто је ласер постављен под углом који није једнак нули, у односу на сензор, могуће је да део површине затамни поглед камере на линију (генерисан од стране ласера). Ово је мање заступљено код нижих углова, али је и прецизност смањена, што ограничава удаљеност преко које се може користити триангулација. Триангулација је способна да обезбеди високу (суб-микронску) прецизност у кратким опсезима.

Пошто се триангулација може реализовати аналогним фото-сензором, могуће су изузетно високе (и стога мерне) брзине преноса података, 200 000 мерења у секунди. Употреба сензора пиксела (поља) омогућава да се открију грешке, као што су вишеструке рефлексије, али то смањује брзину.

4.5.2 Технике базиране на линијама

Ласерска линијска триангулација

Ласерска триангулација, представљена раније, може се лако проширити да би се узела линија мерења паралелно. Ово се постиже заменом ласерског генератора тачке ласерским генератором, који производи линију на површини. Затим је потребно да вишеструки сензори, постављени један на други, узимају читања дуж дужине линије. Често је једноставније и јефтиније користити стандардну CCD камеру (слика 4.9), чији редови представљају различите сензоре у низу. CCD низ такође делује као пикселизовани сензор, који омогућава да се открије више светлих тачака и да се погрешни подаци одбаце, [19].



Слика 4.9. Ласерска линијска триангулација [19]

Као и код техника базираних на тачкама, она такође пати од проблема оклузије, због чега смањује угао (или примењује светлост са супротне стране камере) да би превазишла овај проблем и користи пар извора светлости (оба су видљива) да би се умањио њен ефекат. Други користе вишеструке камере како би минимизирали проблем и омогућили уклањање бучних читавања, али то је додало проблеме јер се морају одредити релативни положаји сваке од камера. Како угао триангулације никада није нула, увек је могуће да се деси оклузија. Коришћењем саставних компоненти могуће је постићи подмилиметарску прецизност (0,15 mm).

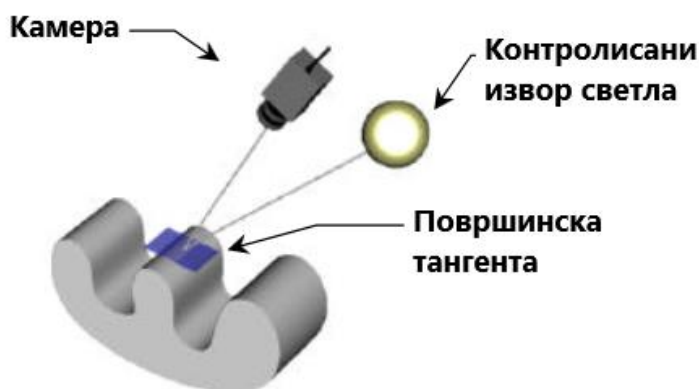
Структурни образац светлости који се користи за триангулацију може бити генерисан на више начина, коришћење светле траке да би омогућио операцију која је безбедна за очи, коришћење комерцијално доступних ласерских генератора.

Неки истраживачи су проширили ову идеју да користе ивицу сенке за триангулацију, јер може бити лакше детектовати промену, од светле до тамне, него детектовати центар уске траке.

4.5.3 Технике базиране на областима

Облик из сенчења

Облик из сенчења или фотометријски стерео, приказан на слици 4.10, одређује структуру површине објекта од слика које се посматрају кроз камеру, под различитим условима осветљења. Анализирајући постојање флектантних својстава површине осветљене пажљиво калибрисаним извором светла, ствара се скуп нормалних површина, из којег се може генерирати поље висине. Детаљнија анализа активности осветљења, као што су сенке, интер-рефлексије и осветљења могу се користити за побољшање укупне тачности резултата, [19].



Слика 4.10. Облик из сенчења [19]

У сличној техници приказано је и одређивање геометрије површине. На површину се пројектују високо паралелни светлосни зраци, који се посматрају помоћу камере. Из овог се гради тродимензионални дијаграм бинарног нивоа сенке док се светло помера. Овај 3D дијаграм сенке се затим користи за одређивање поља висине за површину. Међутим, перспективна пројекција опреме за снимање слике се игнорише, што може довести до систематског нарушавања резултата.

Главна предност облика из сенчења је једноставност опреме (CCD камера и неколико извора светлости), која обезбеђује скупу инсталацију. Такође, опрема је лако доступна за обезбеђивање текстура површине, које су у савршеном поравнању са геометријом. Међутим, пошто се такве технике ослањају на високо контролисане услове осветљења, оне су ограничене на употребу у контролисаним окружењима, као што је кутија у коју се могу поставити објекти.

Дубина од фокуса / дефокуса

Дубина од фокуса је техника у којој се геометрија површине одређује анализом фокалних својстава површинских слика. Ако површина има довољно висок ниво детектабилне текстуре, филтер за фокус, може се користити за квантификацију нивоа фокуса у свакој тачки на слици, [19].

Померањем објекта кроз различите положаје дуж оптичке осе система за снимање, или променом фокалних особина камере, фокус слике ће се повећати, досећи врхунац, а затим поново пасти. Положај (или жижна даљина) на којем се постиже овај максимум (за сваки пиксел) се користи за одређивање геометрије површине.

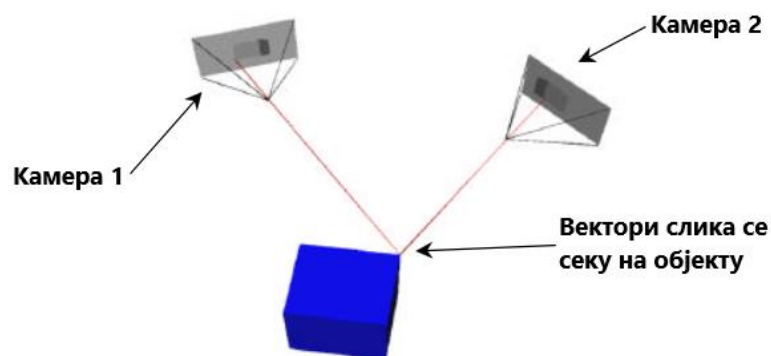
Као и код многих техника, ова се ослања на површину која показује висок ниво препознатљиве текстуре. У пасивној структурираној светлости развијен је систем, при чему се шаховска шема пројектује на површину тако да се примени вештачка (и оптимална) текстура. Истраживачи такође показују како се то може користити за прецизно мерење на површини силиконских плочица и штампаних плоча.

Пошто ова техника захтева велики број слика, на различитим удаљеностима или жижним даљинама, техника се не може сматрати истински паралелном. Такође захтева да површина буде фиксирана (у облику и положају) током трајања скенирања, која обично садржи 10-15 слика.

Дубина од дефокуса користи сличну поставку, али захтева само две слике. Она се ослања на анализу слика, у фреквентном домену, применом бројних језгара филтера за конволуцију, која је рачунски скупа.

Фотограметрија

Фотограметрија (или стерео вид) је метода заснована на триангулацији, приказано на слици 4.11. Због пројекције перспективе, која се јавља у камери, тачка у слици одговара линији тачака (вектор) у 3D простору. Узимајући исту тачку у великом броју слика, снимљених са познатих позиција и укрштајући њихове векторе, пронађена је тачка у 3D простору, [19].



Слика 4.11. Фотограметрија [19]

Ово очигледно захтева више слика, снимљених са различитих позиција. Ово се може урадити коришћењем више камера, за истински симултани систем, или померањем камере на различите положаје, као што је то случај када се обављају прегледи локације. Могуће је користити и једну статичку камеру, опремљену објективом променљиве жаришне дуљине (зум). Промена жишне даљине је еквивалентна translацији камере дуж оптичке осе, што омогућава да дође до триангулације.

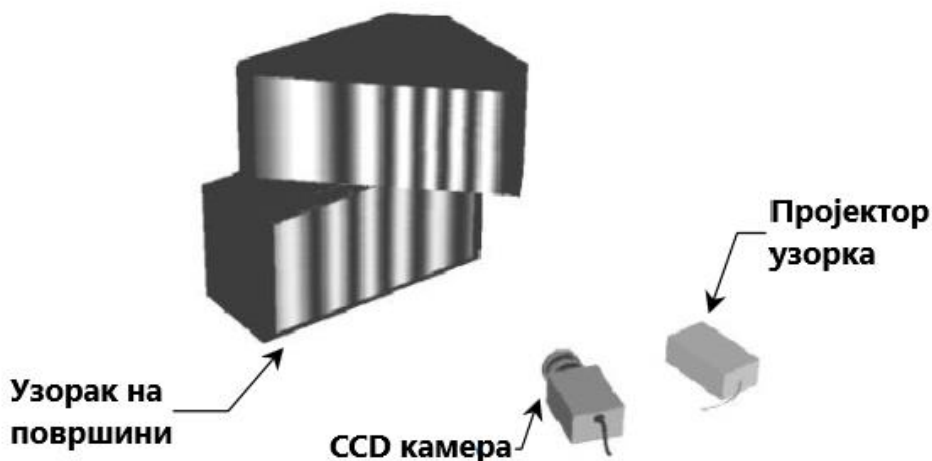
Један од дуготрајних проблема са фотограметријом је проналажење подударности између различитих слика, тј. које тачке на овој слици одговарају тачкама у другим сликама. Традиционалне фотограметријске технике захтевају од корисника да достави ове кореспонденције руком, што очигледно захтева да површине садрже довољно текстуре. Иако је ова тема била у фокусу многих истраживања, још увек не постоји решење опште намене за одређивање ове кореспонденције, а оне које постоје су рачунски скупе.

Да би се превазишли проблеми са којима се суочава недостатак површинске текстуре и да би се аутоматизовало одређивање подударности, користи се пасивна структурна светлост. Ово укључује примену вештачке текстуре кроз пројекцију структурираног светлосног узорка на површини. Употреба 3 (или више) камера омогућава да се кореспонденција између тачака (у шаблону) израчуна помоћу епиполарних линија.

Профилометрија мерења фазе

Ласерска триангулација се може користити за обављање скенирања површина на основу површине, користећи линију за скенирање или помоћу више линија. Један од главних проблема са првим је то што површина мора бити мирна за време трајања скенирања, док друга представља проблем одређивања, које се од вишеструких трака, појављују на слици. У коришћењу синусоидног обрасца светлости ово превазилази псеудо-интерферметријски приступ, [19].

Узорак, генерисан помоћу ласера и решетке, пројектује се на површину. Ово се посматра из угла камере. Користећи референтну слику или одређени број слика са незнатним помаком узорка, може се одредити фаза сваког пиксела, користећи технике фазног опажања (слика 4.12).



Слика 4.12. Синусоидни интензитет узорка [19]

Употреба таквог узорка је еквивалентна употреби веома великог броја ласерских трака. Проблем од којег одсечак обрасца одговара пикселу је смањен, јер је могуће бројати врхове на слици. То је могуће јер је узорак много толерантнији за оштре прекиде на површини, што би изазвало губитак линија.

Као и код ласерске триангулације, тачност система се може контролисати, променом основне линије и растојања за триангулацију и променом видног поља (кроз жижну даљину).

4.6 Уређај за бесконтактна мерења

4.6.1 Ласерски систем праћења

Ласерски систем праћења омогућава сондирање, скенирање и рефлекторско мерење високе тачности за индустријске примене великих обима, [20].

Идеални су за мерење средњих до великих делова и пружање ултра преносивог решења за велике контроле и монтаже. Индустријски ласерски нивелатори постали су важан део метролошке опреме у свим врстама индустрије. Они нуде прецизно 3D рефлекторско мерење, док додавање функционалности од 6 степени слободе (6DoF) омогућава употребу ручних сонди, ласерских скенера и решења за контролу машина.

Од површинских контрола у трговини аутомобилским каросеријама до мерења великих обима у постројењима енергетске индустрије или метролошких вођених аутоматизованих система за монтирање ваздухоплова, брзина, тачност и преносивост ласерске технологије праћења пружају податке када и где су потребни.

Прецизност, брзина и минимална припрема унапред чине ласерске нивелаторе међу највестранијим СММ-ом, [21].

Ласерски трагачи се користе за мерење тродимензионалне локације мобилног циља са тачношћу од неколико микрона, на домету од неколико десетина метара, [22].

Многе индустрије, укључујући аутомобилску и ваздухопловну индустрију, морају прецизно да мере тродимензионалне карактеристике великих објеката. Све популарнији начин за то је помоћу ласерског нивелатора, уређаја који је први пут представљен крајем 1980-их. Као што му име каже, ласерски нивелатор мери 3D координате праћењем ласерског снопа до ретро-рефлектујуће мете која је у контакту са предметом који нас занима, [21].

Они омогућавају брзо мерење мете која се може померати готово било где, унутар видокруга базне јединице. Кључни фактор ласерског нивелатора је висока релативна тачност која се може постићи. Као последица тога, они у великој су мери надилазе традиционалне методе попут теодолита или конвенционалних мерних алата као што су колиматори, [22].

Неки ласерски нивелатори могу мерити карактеристике објеката изблиза и удаљене чак 60 метара. Неки имају типичну тачност једне тачке од око 0,01 mm (0,025 mm) на удаљеностима до неколико метара. Нивелатори прикупљају податке о координатама великом брзином и захтевају само једног оператера. Они нуде побољшане методе мерења координата и омогућавају потпуно нове производне методе, [21].

Данас многи инструменти могу да мере координате. Свака од њих је најприкладнија за одређене примене. Традиционалне мерне машине са фиксном координатом (СММ) врше поновљена мерења брзо и тачно, али су непокретне, ограничене у опсегу мерења и скупе за велике примене. Најпопуларније су за преглед малих и средњих (испод једног метра) производних компоненти тамо где су важна брзина и тачност.

Ласерски нивелатори се могу користити, [22]:

- за праћење, калибрацију, одржавање и тестирање робота,
- у бродоградњи,
- у производњи авиона,
- за изградњу и постављање аутомобилских цигова,
- за верификацију дизајна изграђених конструкција,
- за реверзни инжењеринг,
- за преглед и усклађивање.

Врста прикупљених информација:

- 3D координате,
- CAD модели,
- површине,
- деформације,
- кретање,
- реверзни инжењерски подаци,
- праћење објеката.

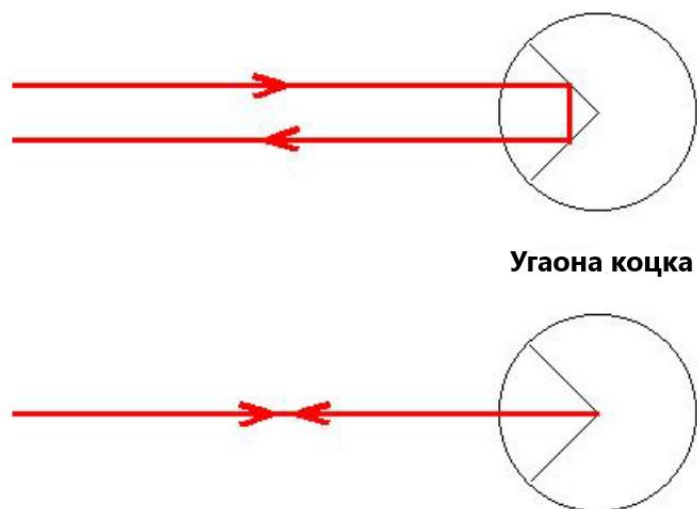
Ласерски нивелатори заснивају се на комбинацији две технике: ласерског интерферометра за мерење релативне удаљености и оптичких енкодера за мерење азимута (правац дефинисан са углом у хоризонталној равни у сферном координатном систему) и висине са огледалом за управљање снопом. Линеарни интерферометри су стандардни индустријски алат за мерење. Они раде на принципу интерферентне светлости. У стандардном Микелсоновом интерферометру (слика 4.13), кохерентан извор светлости (ласер) је подељен на два зрака. Један сноп се користи као референтни, док се други сноп одбија од ретровизора или рефлектора на одређеној удаљености. Затим се спаја са референтним снопом, стварајући интерференцију. Границе интерференције рачунају се како се дужина спољне путање мења. Пошто је таласна дужина ласера позната и веома стабилна, удаљеност се може израчунати од броја ивица.



Слика 4.13. Принцип Микелсоновог интерферометра [22]

Ови уређаји су ограничени на линеарно мерење. Ласерски нивелатор превазилази ово ограничење користећи огледало за управљање снопом у циљу усмеравања ласерског снопа у широком распону правца. Критични задатак је да сноп прати кретање ретро рефлектирајуће мете. То се ради помоћу петље за повратне информације. Кад ласерски

сноп погоди ретро-рефлектирајућу мету изван центра, он се одбија назад паралелно са падајућим снопом, али помера (слика 4.14). Двостепен сензор мери померање, омогућајући ласерском нивелатору да подеси огледало за управљање снопом како би се сноп вратио у жељено коаксијално стање.



Слика 4.14. *Механизам за праћење помоћу рефлектора угаоне коцке [22]*

Када сноп погоди центар циља, враћа се без померања, што указује да је сноп погодио тачну локацију. Овај механизам омогућава ласерском снопу да прати кретање циља до пет метара у секунди.

Отуда ласерски нивелатор следи ретро-рефлектирајућу мету, бележећи удаљеност, азимут и висину (слика 4.15). Ове поларне координате трансформишу се у Декартове координате, које се могу центрирати било где у мерном простору.



Слика 4.15. *Операција ласерског праћења [22]*

Оператор једноставно хода око објекта који се мери, постављајући ретро-рефлектирајућу мету у позиције које треба да се бележе. Треба водити рачуна да се не преломи сноп од ласерског нивелатора до мете, јер ће се изгубити број раздаљина које интерферометар држи. Ако се то догоди, циљ се мора вратити у референтни положај да би се ресетовао координатни систем.

Неки ласерски нивелатори имају секундарни метод мерења удаљености који се може користити за мерење низова монтираних мета. Ласерски нивелатор усмерава сноп према задатом рефлектору, а затим се користи спирална претрага да би се удпоставило закључавање мете. Удаљеност се може измерити без интерферометра и поновити поступак. На овај начин се може надгледати деформација или кретање конструкције, а да се оператер не налази у близини инструмента. Тачност овога што се понекад назива и „апсолутни мерач удаљености“ (ADM) је величине око 50 микрона.

Камера се може користити са најмање једним ласерским тргачем, где корисник може помоћу видео камере да погледа објекат који се мери и да се изабере тачке мерења. Уређај са „скривеном тачком“ омогућава кориснику да мери користећи малу сонду уместо релативно великих сфера које се обично крећу од 12,7 до 37,5 mm.

Предности овог система:

- Интуитиван: оператер поставља циљ било где где се тражи координата;
- Брз: свака тачка података може се снимити у неколико секунди;
- Један корисник: један уређај и оператор могу снимати тачке радећи сами;
- Домет: обично десетине метара, стварајући велику радну запремину;
- Разумно велика инсталирана корисничка база у операцијама велике вредности.

Ограничења овог система:

- Оклузија: може радити само у видном пољу, а разбијање снопа захтева ресетовање координатног система;
- Контакт: мета мора физички да додирује мерену тачку;
- Померање: снимљене координате померају се са стварне површине;
- Циљана величина: величина ретро-рефлектора ограничава минималан радијус закривљености који се може мерити;
- Статички приказ: при измереним тачкама приказ мора да остане статична;
- Околина: промене температуре ваздуха, притиска и влаге могу утицати на мерења;
- Трошак: Ласерски нивелатор је скуп део опреме;
- Преносивост: Ласерски нивелатор је релативно велики и тежак што га чини неприкладним за неке примене;
- Робусност: Ласерски нивелатор је опрема високе прецизности и неприкладна је за употребу у многим опасним, прљавим или нестабилним окружењима.

4.6.2 „Leica Absolute Tracker AT401“

„Leica Absolute Tracker AT401“ (слика 4.16) је преносна координатна мерна машина која омогућава екстремну прецизност на ултра великим раздаљинама, [23].



Слика 4.16. „Leica Absolute Tracker AT401 “ [24]

То је најпреносивији 3D нивелатор за традиционалне инспекцијске задатке или за потпуно вођене процесе мерења. Његов свеобухватни ласерски систем праћења већих обима поставља нови стандард за преносивост, једноставност, робусну конструкцију и ефикасност мерења, [24].

Може да напаја сопствену унутрашњу батерију и може да ради у најзахтевнијем окружењу, а да при том одржава највиши ниво прецизности. AT401 има јединствен дизајн „све у једном“ који садржи неопходне додатке као што су уграђени видео запис уживо, ниво гравитације, надгледање околине и чак интегрисани IR даљински управљач, [23].

Коришћењем интегрисане бежичне LAN комуникације сензор се може у потпуности бежично користити што чини овај апсолутни нивелатор најпреносивијим икада.

Све тачности су одређене са „Leica geosystems“ прецизним рефлекторима (испоручују се са сваким сензором) и начином мерења од 2 секунде по тачки у стабилним условима окружења. Потпуни домет је одређен од 1,5 до 80 метара од ласерског нивелатора у вертикалном распону од $\pm 45^\circ$.

Карактеристике овог уређаја су, [24]:

- запремина мерења $\varnothing 320$ m,
- изузетно лаган - 8,1 kg укључујући и контролу,
- тачност мерења - $15 \mu\text{m} \pm 6 \mu\text{m}$ по метру,
- високо прецизан ниво гравитације,
- уграђено праћење животне средине.

Предности „Leica Absolute Tracker AT401“ су следеће:

- Свеобухватни интегрисани дизајн - Од интегрисаног бежичног повезивања, надгледања животне средине и целодневног напајања батерија, до прегледне камере и ергономске ручке за ношење, обухваћена је свака потреба.
- Сондирање са једном кутијом - Садржи најлакши и најпреносивији сензор и сонду, као и IR даљинац, са различитим транспортним могућностима за потпуну флексибилност.
- Паметно повезивање - Уграђени WiFi са функционалношћу приступне тачке омогућава рад једног корисника једноставним подешавањем рачунара и могућностима даљинског управљања путем лаптопа, таблета или паметних телефона.
- Закључавање напајања - Аутоматски поново успоставља прекинуту видљивост у широком видном пољу без интеракције корисника.
- Снага батерије - Независно напајање батеријом која се може заменити омогућава брзо и једноставно подешавање без каблова и целодневни бежични рад.
- IP54 сертификација – ИЕС сертифицирована запечаћена јединица гарантује заштиту од продирања прашине и других нечистоћа, омогућавајући ефикасно мерење и у најтежим условима.
- Метео станица - Интегрисана еколошка јединица прати услове укључујући температуру, притисак и влажност да би надокнадила промене и обезбедила тачна мерења без обзира на спољашње факторе.
- Мерење запремине - Изузетно велика запремина мерења до 320 метара (Ø), са минималном мером удаљености мањом од 0,8 метара.
- Оријентисано до гравитације - Омогућава мерење помоћу Z осе која је поравната са гравитацијом, што је идеално за задатке изравнавања и поравнања.
- Континуирано мерење - Режим непрекидног мерења растојања у току времена.
- Радна температура - Широки распон радних температура од -15 до 45 степени Целзијуса.

Склоп доњег постолја (алхидаде)

Склоп доњег постолја укључује све осим телескопа. Иако су појединачни дизајнерски критеријуми различити, сви ови сензори имају исту потребу за изузетно чврстом алхидадом. Да би се загарантовала тачност под веома захтевним условима (промене температуре, ветра, кише, итд.), био је потребан нови дизајн и производни процес у поређењу са стандардним тоталним станицама, [25].

Алхидада за ове сензоре дизајнирана је са свим овим параметрима на уму и користи технологију ливења под ниским притиском. Овај поступак ливења путем гравитације спорији је и скупљи од стандардне технологије ливења која је уобичајена у савременим тоталним станицама, али је једини начин да се постигне температурна стабилност и крутост коју захтевају ови сензори ултра високе тачности.

Систем за мерење угла

Систем за мерење угла је врло значајна компонента за производе засноване на овој заједничкој алхиди. Угаони кодери морају гарантовати врло прецизна и тачна мерења угла и то морају чинити чак и под великом брзином Пиезо директних погона. Четвороструки систем за мерење угла читавања састоји се углавном од кодираниог стакленог круга и четири погона. Сваки кодер има ЛЕД извор светла, огледала за одраз емитоване светлости и дигитални линијски сензор. Кодирани стаклени круг заснован је на радијално усклађеним линијама и апсолутан је и континуиран. Није потребна иницијализација сензора за угао пре него што се омогући мерење. На слици 4.17 приказана је 3D илустрација појединачног погона и кодираниог стакленог круга система за мерење угла.



Слика 4.17. Појединачни кодер система за мерење угла са извором светлости (ЛЕД) и линијским сензором [25]

За мерења угла, светлост коју емитује ЛЕД пројектује се кроз кодирани стаклени круг и на линијски сензор. Да би се слика са линијског сензора трансформисала у податке о релативном углу, прво се мора декодирати. Прецизно мерење угла израчунава се из положаја центроида кодираних линија помоћу алгоритама које је развио „Leica Geosystems“. За одређивање положаја, сензор линије мора ухватити најмање 10 линија кодова. Да би се повећао квалитет интерполације стварног положаја, користи се најмање 30 кодних линија за обраду сигнала.

Овај процес не само да је врло брз (са фреквенцијом мерења и до 5000 мерења угла у секунди), већ је и невероватно тачан, јер четири положаја кодера детектују стварни положај кодираниог стакленог круга. То омогућава да се елиминишу систематске и периодичне грешке повећавајући тачност мерења, док додатни укупни број мерења угла повећава поузданост. Коришћењем два погона за мерење угла уклања се периодична грешка ексцентричности кода стакла у поређењу са његовом ротационом осом. Додатна два погона (укупно четири) уклањају додатне мање π -периодичне грешке и побољшавају тачност мерења.

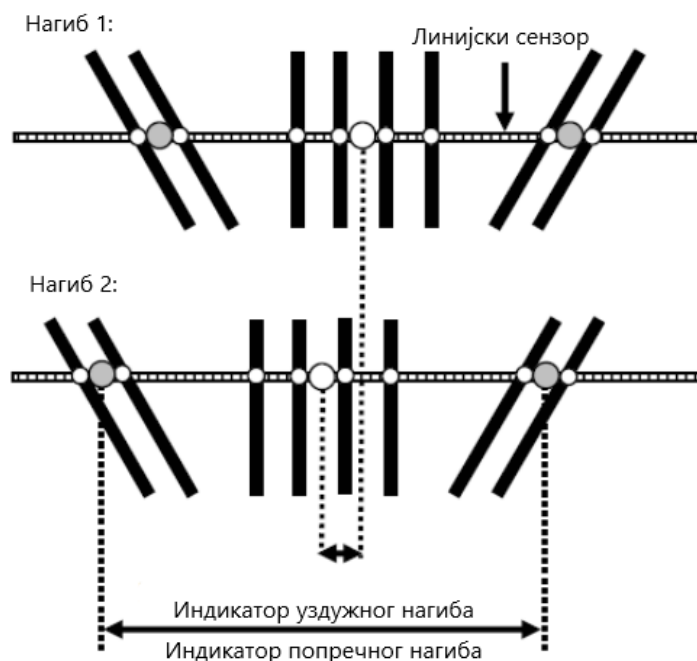
Ниво прецизности сензора гравитације

Сензор нагиба са двоструком осом надгледа хоризонт алхидаде. У идеалном случају, хоризонт инструмента би увек био нормалан на вектор гравитације. Међутим, у стварном свету то заправо није могуће, тако да сензор нагиба открива и исправља стварна одступања између та два. На слици 4.18 приказан је принцип двоосног сензора нагиба који је имплементиран у АТ401.



Слика 4.18. Принцип двоосног сензора нагиба [25]

Сензор нагиба се углавном састоји од слоја уља у кућишту заједно с призмом која има интегрисану линијску шему, дигитални линијски сензор, извор светлости и огледала за рефлексију емитоване светлости. Шема линија се пројектује на линијски сензор након што прође кроз слој уља и двапут се одражава на његовој површини. Специфични узорак троугаоне линије омогућава откривање и попречних и уздужних компоненти нагиба помоћу једнодимензионалног пријемника (слика 4.19).



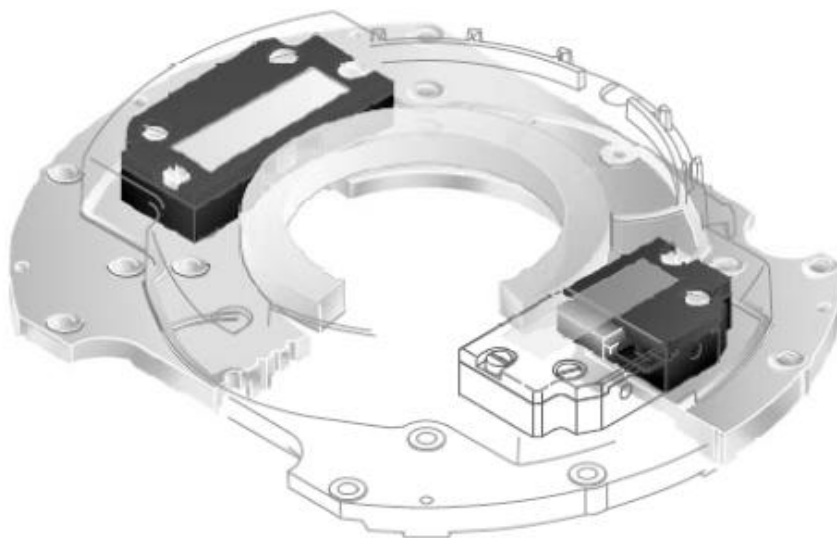
Слика 4.19. Линијска шема за мерење уздужног и попречног нагиба једнодимензионалним линијским сензором [25]

За попречне нагибе, размак између дијагоналних линија је измењен. За уздужне нагибе, средиште целог узорка линије помера се дуж сензора линије. Овај концепт омогућава веома малу величину конструкције која омогућава да се сензор нагиба двоструке осе налази на средини стојеће осе алхидаде. Притом се помицање површине течности смањује током ротације алхидаде. То минимизира време таложења слоја уља и омогућава тренутна мерења након ротације.

Пиезо директни погон

Ови нови давачи заснивају се на Пиезо електричном принципу, који електричну снагу директно претвара у механичка кретања. Ови погони укључују максималну брзину и убрзање, заједно са позиционирањем нанометра и врло ниском потрошњом енергије.

Сваки директни погон састоји се од пара дијаметрално монтиране пиезоелектричне керамике која убрзава и прецизно поставља керамички цилиндрични прстен који је причвршћен на осу алхидаде (слика 4.20). Монтирана пиезоелектрична керамика поларизована је и подељена на активну и пасивну электроду. Керамички нос преноси покрете монтиране пиезо-електричне керамике на керамички прстен. Нос се креће у елиптичном шаблону, гурајући се уз керамички прстен својом тангентом, узрокујући да се монтирана пиезо-електрична керамика врти око фиксног прстена. Правац и брзина елиптичних покрета управљају посебним активним сегментом монтиране пиезоелектричне снаге и снагом наизменичног напона.



Слика 4.20. Директни давач *Leica AT401* [25]

Потрошња енергије погона за ову заједничку алхидаду била је пресудни фактор дизајна. Мања потрошња енергије, посебно када се одмара, значајно продужава време рада батерија. Предност Пиезо директних погона је то што им је потребна снага само у покрету. Они су у стању да држе хоризонталне и вертикалне положаје алхидаде и телескопа без употребе било какве снаге. Ово штеди енергију, не ствара неконтролисану топлоту и омогућава стабилна мерења током дужег временског периода. Хоризонтални и вертикални положаји алхидаде и телескопа су врло стабилни, али нису фиксни. То омогућава ручно циљање сензора без искључивања или сталног укључивања и искључивања мотора.

Апсолутни мерач удаљености

Иако је алхидада подељена између многих сензора, телескоп AT401 је потпуно нови дизајн. Један од најважнијих критеријума за овај телескоп био је невероватно тачан електронски даљиномер (EDM). Већина тоталних станица користи EDM-ове засноване на времену лета или фазама. Свака од ових технологија има своје снаге и слабости, са изменама брзине и тачности. Чак и када су та ограничења сведена на минимум, ова технологија једноставно није у стању тачности веће од десетина милиметра. Да би се досегле висине милиметара, требало је окренути се технологији ласерског праћења за овај нови EDM. Први EDM стављен је у ласерски нивелатор 1995. године, када је „Leica Geosystems“ први пут представила LTD500. Тада је уведен израз Мерач апсолутне даљине (ADM). ADM се од EDM-а разликовао само по нивоу тачности који је могао да испоручи. Иако су најчешће EDM-ове имале прецизност од неколико милиметара, ADM је била тачна пар стотина милиметра.

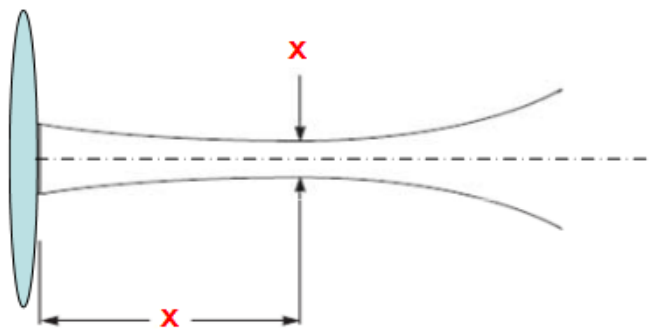
Два кључна параметра (поред фреквенције модулације) су опсег фреквенције и резолуција синтетизатора (фреквенције). Ова три параметра утичу на достигнуту тачност и најкраћу удаљеност мерења. Што је мања фреквенцијска ширина, то је дуже потребно минимално мерење раздаљине.

Стварање поступка испитивања за потврђивање мерача удаљености до ове тачности било је прилично тешко. Нема много уређаја који могу да мере значајно тачнију вредност од ове, па су инжењери били приморани да уређај користе за сертификацију. Предност овог стила технологије дистанцирања је тачност фреквенција која одређује тачност растојања.

ATR и ласерски показивач

Све модерне станице за праћење имају окулар који омогућава оператеру да ручно види предмет кроз телескоп. То је зато што се већина геодетских сензора користи у више сврха, а праћење је само једна од њих. AT401 је са друге стране дизајниран од почетка до краја са једним задатком - праћењем. Стога је окулар телескопа уклоњен како би могао да се користи напреднији дизајн троструког снопа.

Први сноп је једноставан ласерски показивач који се користи као визуелно помагало тако да оператор који помера рефлектор може видети где је сензор усмерен. Ово је видљиви црвени сноп са ласерске диоде који делује на таласној дужини од 635 nm. Има шему Гаусовог снопа који омогућава постављање најуже тачке од система (слика 4.21).

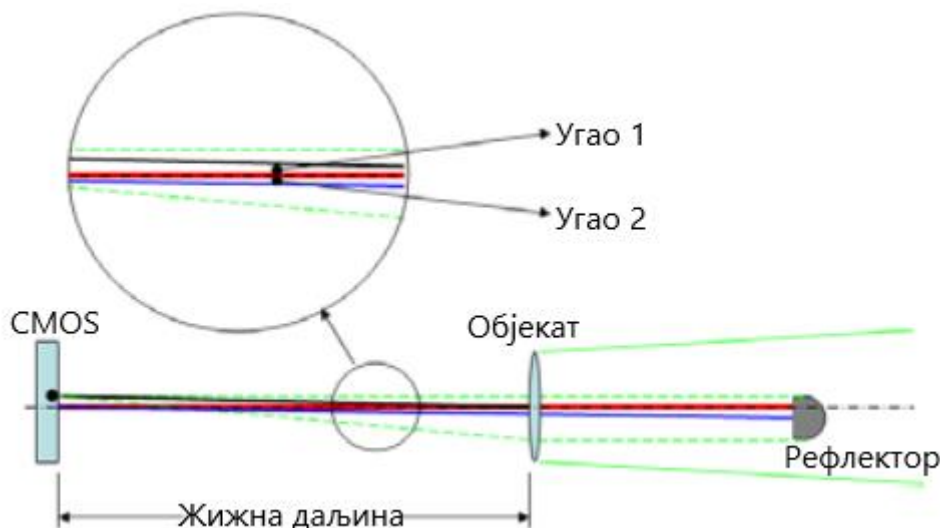


Слика 4.21. Типични профил Гаусовог снопа [25]

У стандардном ласерском нивелатору, овај Гаусов сноп се такође користи за одређивање угаоног положаја према рефлектору. Ласерски зрак се емитује из ласерског нивелатора и одбија назад на детектор позиционирања (PSD). PSD је интегрисан у контролну петљу са угаоним кодирима и моторима како би се сноп задржао на рефлектору док се креће. Како се рефлектор почне кретати у одређеном смеру, сноп ће се покренути из свог првобитног положаја на PSD-у. Овај покрет се преноси системима погона (и кодирима и моторима) како би се сноп усмерио у средину PSD-а. Са Гаусовим снопом, као што је приказано на слици 4.21, што је рефлектор даље од најуже тачке или „струка снопа“, то је сноп мање „фокусиран“. Како се сноп све више разилази, мање светлости пада на рефлектор и мање се светлости враћа у PSD. Ово је ограничавајући фактор у већини стандардних ласерских нивелатора. Сензор престаје да се мери на даљим растојањима јер PSD више не може да детектује рефлектор. Телескоп у AT401 уопште не користи PSD. Уместо тога, видљиви сноп се користи само као помоћ за покретање, док сво позиционирање изводи систем аутоматског препознавања циља.

Као што је раније споменуто, „Leica Geosystems“ је у своје сензоре уградио неки облик аутоматског препознавања циљева. Уместо да користи PSD, ATR користи комплементарни сензор метал-оксид-полупроводник (CMOS). Инфрацрвени сноп преноси се коаксијално са видном телескопском линијом према рефлектору који се налази у видном пољу (FOV). Сноп се затим враћа назад стварајући слику на CMOS чипу. CMOS чип замјењује PSD у управљачкој петљи омогућавајући пренос делта позиције рефлектора на погонски систем како би AT401 могао стално пратити рефлектор.

Информације о CMOS слици су повезане са угаоном локацијом рефлектора помоћу геометрије бушотине (слика 4.22).

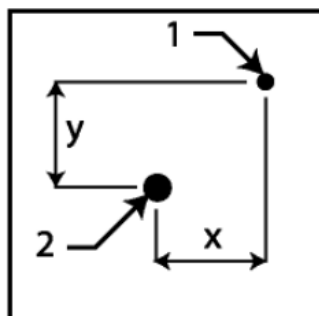


Слика 4.22. ATR геометрија бушотине [25]

Ово се може поједноставити на следећи начин:

- Вдино поље - Равна линија кроз средиште и објекта и CMOS чипа;
- Линија објекта - Права линија која повезује и средиште објекта и средиште CMOS чипа;
- Линија слике - Права линија која повезује и средиште објекта и средиште слике на CMOS чипу.

Угао између видног поља и линије објекта (угао број 1) једнак је углу између видног поља и линије слике (угао број 2). Ови углови се могу израчунати из познате позиције пиксела слике на CMOS пољу (слика 4.23), жаришне дужине и величине пиксела.

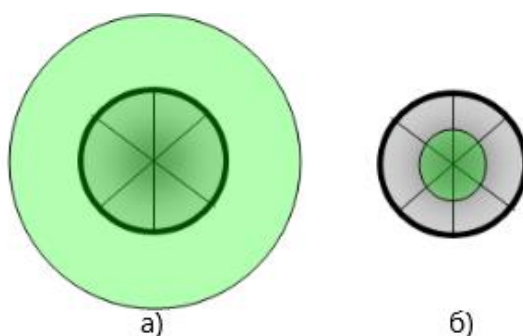


Слика 4.23. 2D координате слике ATR CMOS [25]

Кохерентни извори светлости, нпр. ласерске диоде имају тенденцију нехомогене дистрибуције светлости коју карактеришу „вруће тачке“ или светле тачке у снопу. Као последица тога, на већим растојањима CMOS низ детектује врло малу тачку светлости из рефлектора, али у блиском домету скоро цео CMOS низ испуњен је светлошћу. У овом случају, светла тачка на слици може учинити да се положај рефлектора чини другачијим него што стварно јесте.

АТ401, са друге стране, користи Суперлуменисцент ЛЕД (СЛЕД) као извор АТР светлости. Док ласерска диода емитује уску ширину опсега, суперлумецентна диода емитује шири спектар таласних дужина, у случају АТ401 АТР обично око 20 nm. Ово уклања све проблеме интензитета или „вруће тачке“ у кратком року.

Да би се традиционални ласерски правац закачио на рефлектор, рефлектор мора бити у линији са видљивим ласерским снопом (+/- неколико милиметара) како би се снап вратио у PSD. Са АТР концептом, рефлектор мора бити само негде унутар 0.6 FOV од АТР. Слика 4.24 а) представља стандардни рефлектор удаљен 5 метара од АТ401 са зеленим кругом који представља FOV АТР-а. Све док је средина рефлектора било где у овом зеленом кругу, АТР може да се закључа и прати свој положај. Слика 4.24 б) представља стандардни рефлектор удаљен 5 метара од нормалног PSD ласерског нивелатора. Зелени круг представља еквивалентно „видно поље“ PSD-а. Средина рефлектора мора бити постављена унутар овог зеленог круга да би PSD могао да блокира и прати рефлектор.



Слика 4.24. FOV: а) ATR FOV и б) PSD FOV [25]

Што је даље од AT401 то зелени круг постаје већи, у поређењу са зеленим кругом стандардног ласерског нивелатора који остаје приближно исте величине у целом опсегу мерења. То даје AT401 могућност да се носи са много вишим динамичким покретима у поређењу са традиционалним ласерским нивелаторима.

Са овим великим FOV-ом могуће је да сензор може видети више рефлектора одједном. Због тога су генерисани посебни алгоритми за одређивање, који рефлектор је исправан када је на располагању више од једне опције. Ово такође помаже у откривању мерних рефлектора из „других“ рефлексија у радном окружењу. Ови алгоритми раде у комбинацији са низом посебних оптичких филтера са опсегом и јединственим поступком диференцијалног снимања како би се гарантовало да је увек одабран исправан рефлектор.

OVC и закључавање напајања

„Laica“ ласерски нивелатори имају могућност коришћења прегледних камера (OVC) од представљања LTD500 1995. године. У LTD500 OVC је оператеру пружио могућност да визуелно види било које рефлекторе које ласерски нивелатор може директно да мери на екрану рачунара. То је омогућило да се ласерски правац LTD500 користи у јако аутоматизованим системима, где оператер можда није могао да контролише правац нивелатора, али је ипак потребан за ручно премештање ласерског снопа. За ове задатке, оператер може једноставно отворити видео стрим уживо и кликнути показивач миша на видео снимак где сензор треба да буде постављен. Ако је жељени положај изван FOV-а OVC-а, тада је оператер могао управљати хоризонталним и вертикалним постављањем сензора помоћу типки са стрелицама на тастатури док је гледао видео стрим уживо како би видео где је сензор усмерен. У интеграцији LTD500 OVC је користио исто огледало као и ласерски сноп. То је значило да, док је OVC показивао видео слику, ласерски нивелатор није био у стању да га измери. Једном када је оператер кликнуо на рефлектор који је требало измерити, огледало би се вратило на ласерски сноп, тако да би сензор могао завршити мерење. У AT401 OVC се сада може користити и као извор видео записа док сензор мери. Камера омогућава 10° FOV и осветљава све објекте унутар овог приказа треперећим IR светлосним извором. Постоје случајеви када оператер можда жели ручно да контролише ово понашање (кликом на слику PC-а), а постоје случајеви када оператер жели да се овај процес аутоматизује, ту долази закључавање напајања.

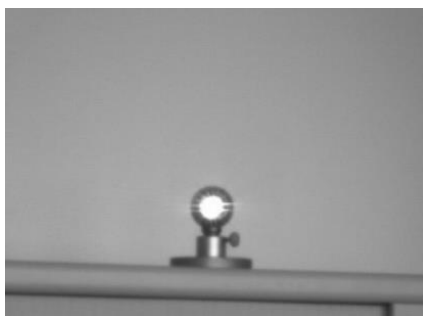
Закључавање напајања је први пут представио Леица Геосистемс у AT901 апсолутном нивелатору. Омогућио је систему да открије када је рефлектор у видном пољу нивелатора и аутоматски се закључа на њега. Ово је посебно корисно јер AT901 користи стандардни PSD, а пре увођења закључавања напајања имали су иста ограничења као и сви други PSD ласерски нивелатори описани раније. Са AT401 проширен је FOV закључавање напајања модул тако да одговара 10° FOV OVC-а. Закључавање напајања CMOS се налази одмах поред OVC CMOS-а у телескопу, али има потпуно засебан дизајн. OVC је дизајниран за видео уживо и производи 30 кадрова у секунди видео записа VGA квалитета. OVC је дизајниран тако да омогућава кориснику да види шта сензор има на линији вида. Закључавање напајања модул са друге стране користи нешто мању резолуцију, али много већу брзину кадра до 200 слика у секунди. Ова ултра велика брзина ажурирања омогућава AT401 да прати покретни рефлектор

користећи само овај модул. Оптика за систем за праћења дизајнирана је тако да омогућава само уско пропусно светло да прође до CMOS-а. Овај пролаз опсега подудар се са излазном фреквенцијом IR диода које осветљавају рефлектор. Комбинујући ово са „Leica Geosystems“ специфичним алгоритмима за диференцијално снимање, закључавање напајања модул има могућност разликовања рефлектора који се могу мерити и залуталих рефлексија на радном месту.

Врхунске перформансе праћења

Да би ласерски нивелатор прецизно могао да прати мету он се мора носити са веома високим брзинама убрзања. Проблем не може узроковати брзина којом се рефлектор креће, већ врло брза промена смера која се догађа током ручне употребе. Једноставан поглед на брзину убрзања дискова у уређају за праћење ће вам дати само део колико добро ће уређај заправо пратити рефлектор. Други фактор је како „фиксни“ сноп ласерског нивелатора мора остати повезан са рефлектором. Средина рефлектора може да се помера било где у зеленом кругу, а нивелатор га и даље може видети. Једном када рефлектор падне изван тог подручја, нивелатор више не може пратити рефлектор. Док се рефлектор креће кроз простор, контролна петља невиделатора непрестано израчунава где се рефлектор налази и прилагођава погоне тако да ласерски зрак (или виртуелни зелени круг) остане у средини рефлектора. Што је ово подручје веће, нивелатор може боље реаговати на динамичке промене правца. То даје контролној петљи више времена да исправи положај ласерског снопа пре него што се рефлектор помери тако далеко да више не може да израчуна свој следећи положај.

AT401, међутим, ради на потпуно другачијој основи. Не само да је виртуални зелени круг већи него код стандардног ласерског нивелатора, већ наставља да расте даље од сензора на којем је рефлектор. На удаљености од 60 метара, видно поље ATR-а (сензор за праћење) је веће од пола метра у поређењу са видним пољем од свега неколико милиметара за стандардни нивелатор. Поред тога, AT401 такође може користити закључавање напајања модул да би се пратио рефлектор. То даје сензору ефективно видно поље веће од 1m x 1m на удаљености од само 6 метара. На слици 4.25 приказано је потпуно видно поље закључавање напајања модула на само 1,5 метра.



Слика 4.25. AT401 закључавање напајања FOV на 1,5 m [25]

Где год да се рефлектор помера унутар ове слике сензор може сходно томе да га прати. То значи да чак и ако рефлектор прође иза објекта који се налазе на путу ласерског снопа, AT401 га може наставити пратити. Ово ипак ствара ново стање, где AT401 прати рефлектор, али још није спреман за мерење.

Традиционално, ласерски нивелатори су имали два стања, закључана (праћење) и спремна за мерење. АТ401 уводи ново стање, закључано (праћење) које није спремно за мерење. Иако се рефлектор може пратити кроз пуних 10° FOV закључавање напајања модула, АДМ сноп није увек на рефлектору. То значи да ће сензор понекад пратити рефлектор, али систем неће бити у стању да га мери јер нема валидну удаљеност.

Када се сензор закључа на стабилну мету, систем ће бити „спреман за мерење“ на шта указује зелена ЛЕД на сензору. Ако се рефлектор креће, систем ће бити „закључан“, али није „спреман за мерење“. То показује индикатор који трепери црвено на сензору. Ако је рефлектор потпуно изван видног поља, онда ће сензор ЛЕД бити потпуно црвен, што указује да није могуће открити ниједан рефлектор. У овом тренутку би требало да светли и плави ЛЕД који показује да је закључавање напајања омогућено. Чим се рефлектор прикаже унутар овог 10° FOV, систем ће аутоматски покушати поново успоставити закључавање. Ако се рефлектор не креће пребрзо, ЛЕД ће се вратити у потпуно зелено, што указује да се мерење може покренути.

Потпуно бежични дизајн

Да би задовољили критеријуме за бежични дизајн потребно је узети у обзир три ствари:

- Како комуницирати сензор;
- Како управљати сензором;
- Како напајати сензор.

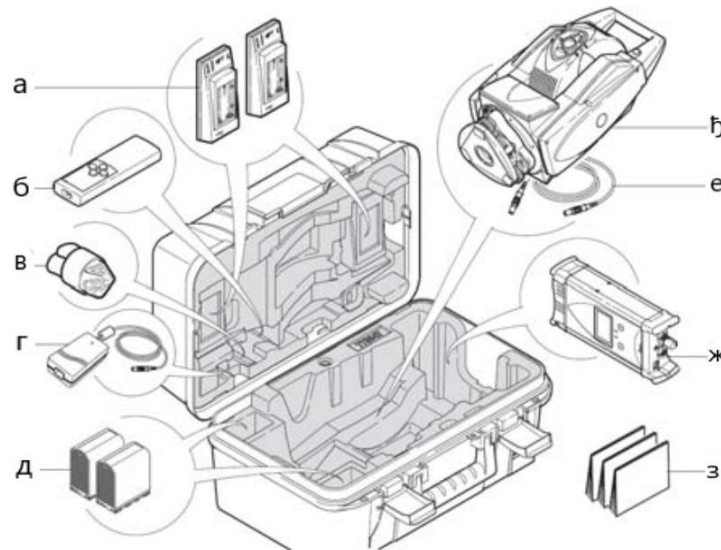
Постоје бројни бежични стандарди, од инжењерских решења, до већих решења као што су Bluetooth и WiFi. Сви ови стандарди узети су у обзир, али на крају је изабран WiFi стандард. WiFi пружа одличну прилагодљивост уз огромну базу за инсталирање у индустрији. Нуди велике брзине, лако подешавање и широко је коришћен међународни стандард.

Контрола сензора постала је следеће питање. Постоје многа решења са полицама за даљинско управљање стандардном рачунарском апликацијом, али многим је потребан додатни радио опсег који је често забрањен у фабричком радном окружењу. Јединице које користе инфрацрвену везу заобилазе ово ограничење, али захтевају линију гледања на пријемник, а то није увек могуће. Да би отклонио овај проблем, АТ401 има уграђени IR пријемник и даљински управљач у комплекту са IR предајником. IR пријемник се налази у близини објективног сочива у телескопу. Будући да ће сензор увек имати видно поље према рефлектору, оператер би морао увек да има видно поље према телескопу. Овај веома једноставан IR даљински управљач омогућава било којој апликацији за мерење могућност да обрађује притискане тастере онако како процени или чак дозвољава кориснику да их додељује у складу са тим.

Унапређено управљање напајањем

Последња препрека у томе да сензор постане потпуно бежичан односи се на то како да га напајате. Будући да су сви главни модули у АТ401 дизајнирани с малом потрошњом енергије, способност система да се током дужег периода напаја батеријом чини се сасвим логичном. АТ401 поседује две идентичне литијум јонске батерије, једну у сензору и једну на контролеру. Када су обе батерије потпуно напуњене, сензор ће

радити нешто више од пола дана. Батерија у сензору има први приоритет што значи да ће се прво испразнити. Чим се та батерија испразни, батерија у контролеру ће је преузети (без прекида). Једном када је батерија сензора празна и батерија регулатора достигне критични ниво, оператор има два избора. Они могу или заменити батерију у сензору свеже напуњеном јединицом, или могу заменити батерију контролера без прекида. Било како било, АТ401 ће наставити са радом као да се ништа никада није догодило.



Слика 4.26. *Дизајн кутије АТ401 „Све у једном“ [25]*

Кутија сензора (слика 4.26) садржи простор за смештање две додатне батерије (д) као и двоструки пуњач за батерије (а) који може да напуни две батерије узастопно. Пуњач батерије може да се испразни или са укљученог мрежног (АС) напајања (г) или 12V DC адаптера за аутомобил који се укључује у упалјач код већине аутомобила. Ако је пожељно да се систем напаја из напајања наизменичном струјом, исто напајање наизменичном струјом које се користи за напајање плоча за пуњење батерија може се прикључити директно у регулатор (ж). У овој конфигурацији се не користе унутрашње батерије, а систем уместо тога црпи сву снагу из мреже наизменичне струје. Ако би ипак дошло до прекида напајања, а сензор је у њему напунио батерије, аутоматски би се пребацио на напајање без прекида. Ако ће сензор увек бити напајан из мреже наизменичне струје, као што је то случај у фиксној или „Metrology Automated Assembly (МАА)“ инсталацији, он се такође може напајати директно из RJ45 LAN порта користећи „Power Over Ethernet“ технологију.

„Power Over Ethernet (PoE)“ првобитно је замишљен као протокол мале снаге за уређаје попут телефона и веб камера. Од тада је прерастао у PoE стандард веће снаге који може покретати уређаје од 60 до 90 вата.

АТ401 поседује опциони модул који може искористити ову нову технологију. Једноставном заменом батерије регулатора са PoE модулом, сензор се може напајати директно са LAN порта RJ45. Ово омогућава да један одвојени Cat5 LAN (TCP / IP) кабл може покренути и напајање и податке према сензору. Ова конфигурација користи инјектор за напајање или "мидспан" за уметање напајања у Cat5 кабл. АТ401 PoE модул затим одваја ову снагу од података аутоматски, чинећи је најлакшим сензором икад развијеним за фиксне инсталације.

5. Контрола квалитета

Контрола квалитета у производњи је сваки напор који је направљен како би се прегледао квалитет производа, односно како би се идентификовали и отклонили њихови недостаци. У идеалном случају, недостаци ће бити пронађени и поправљени пре него што производи икада доспу у руке потрошача, али у неким случајевима може се пронаћи недостатак који ће покренути опозив или друге напоре да се реши проблем након што је производ испоручен, [26].

У најмодернијим производним објектима, контрола квалитета је изузетно важна због чињенице да се тако велики обим производа производи у кратком временском периоду. Ако машина узрокује дефект, то може довести до производње хиљада производа који не задовољавају потребне стандарде. Са добрим програмом контроле квалитета, производни погон може да идентификује проблем и заустави производњу док се проблем не реши. Ово ће драматично смањити укупан број угрожених делова или производа.

Квалитет и трошкови су блиско повезани. Економичније је испоручивати производе доследно високог квалитета него задовољити мањи циљ. Неисправни производи, ако се открију на линији за монтажу, морају бити отписани или прерађени. Купац који купи неисправан производ вероватно ће следећи пут купити од друге компаније.

Исправно конципиран систем контроле квалитета може значајно смањити трошкове производње. Без контроле квалитета, губици од одбијања, отпадака, спашавања и прерађене производње могу износити чак 25% укупне производње. Након увођења контроле квалитета, губици се могу смањити на 1% производње и задржати на том нивоу.

Контрола квалитета ни на који начин није ограничена на производњу. Може се применити и на сваку забринутост која у великом обиму испољава униформни производ који мора да задовољи одређене спецификације. Технике контроле квалитета су у широкој употреби у прехранбеној индустрији и индустрији лекова, у осигурању и банкарству, те у владиним агенцијама као администрација ветерана.

5.1 Предности ефикасне контроле квалитета

Када производни погон има добар систем контроле квалитета, они ће имати користи на много начина. Ове предности не престају само код производне компаније, већ се проширују на купце, продавце, запослене и још много тога. Ово су неке од кључних предности постојања ефикасног система контроле квалитета, [26]:

- Лојалност купаца

Контрола квалитета помаже да се смањи ризик од неисправног производа у рукама купаца. Пружање клијентима доследно позитивно искуство побољшаће њихову лојалност бренду.

- Смањени отпад

Бити у стању брзо идентификовати проблеме квалитета ће смањити количину отпада произведеног због неисправних производа.

- Усклађеност

У многим производним индустријама постоје прописи о усклађености, заштити животне средине и другим прописима који морају бити испуњени. Програми контроле квалитета могу се фокусирати на ове области како би се осигурала усклађеност.

- Препоруке за клијенте

Купци који добијају стално висококвалитетне производе вероватније ће упутити своје пријатеље и породицу на тај бренд.

- Побољшана сигурност

Неисправан производ је често опасан производ. Контрола квалитета може наћи и елиминисати потенцијалне безбедносне проблеме на самом почетку.

- Оснаживање запослених

У већини система контроле квалитета сви запослени су охрабрени да предузму кораке како би идентификовали проблеме. То може помоћи да се оснаже запослени, што може довести до побољшања морала.

- Повећани профит

Омогућавање наставка производње неисправних производа може резултирати врло скупим повлачењем, изгубљеним купцима и укупним падом профитабилности.

- Корпоративни имиџ

Компаније су често познате по својој великој поузданости. Ово постигнуће почиње са одличним одељењем за контролу квалитета.

Ово су само најопипљивије предности ефикасног система контроле квалитета у производњи. Постоје и многе секундарне предности које ће компанија имати.

5.2 Историја контроле квалитета

Контрола квалитета је стара колико и сама индустрија. Средњовјековни цехови су инсистирали на дугом периоду обуке за приправнике и захтевали да они који желе постати мајстори нуде доказе о високој способности. Таква правила су делимично била усмерена на одржавање квалитета. У модерним временима, инспекција и истраживање фабрика, чиста храна и лекови, као и активности професионалних друштава, све се бавило осигуравањем квалитета производње у различитим линијама производње, [27].

Рани камени алати као што су наковњи нису имали рупе и нису замишљени као замењиви делови. Масовна производња је успоставила процесе за израду делова и система идентичних димензија и дизајна, али ти процеси нису уједначени и због тога неки купци нису били задовољни резултатом. Контрола квалитета одваја чин тестирања производа да би се откриле грешке у одлуци о дозволи или одбијању пуштања производа,

што може бити одређено фискалним ограничењима. За уговорени рад, посебно послове које додељују владине агенције, питања контроле квалитета спадају у главне разлоге за необнављање уговора.

Најједноставнији облик контроле квалитета био је скица жељене ставке. Ако се скица не подудара са ставком, она је одбијена, у једноставној проћи / не проћи процедури. Међутим, произвођачи су ускоро открили да је тешко и скупо направити делове као што је и њихов приказ, тако да је уведено око 1840 граница толеранције, при чему би дизајн функционисао да су његови делови били у границама. Квалитет је на тај начин прецизно дефинисан употребом уређаја као што су мерни чепови и прстени. Међутим, то се није бавило проблемом неисправних предмета. Рециклирање или одлагање отпада доприноси трошковима производње, као и покушај да се смањи стопа грешака. Предложене су различите методе за одређивање приоритета у питањима контроле квалитета и одређивање да ли да их се остави без одговора или да се користе технике осигурања квалитета за побољшање и стабилизацију производње.

1920-тих година настала је модерна концепција контроле квалитета. У меморандуму, 16. маја 1924, Валтер А. Севарт из Бел Телефон Лабораторија направио је први цртеж контролне карте, основног алата контроле квалитета. Пет година касније Х. Ф. Доџ и Х. Г. Ромиг, такођер из Бел Система, износе своје идеје о примени статистичке теорије у инспекцијском узорку. Ови људи су се обавезали тридесетих година прошлог века да убеди америчке произвођаче да усвоје нове технике контроле квалитета, али су наишли на мали успех. Процењено је да је 1937. године више од десетак масовно-производних индустрија имало програме контроле квалитета, [28].

Почетно оклевање америчке индустрије да прихвати статистичку контролу квалитета је превазиђено током рата. Како су оружане службе ушле на тржиште као велики потрошачи, оне су имале све већи утицај на стандарде квалитета. Службе су усвојиле процедуре узорковања статистичке инспекције и тиме извршиле притисак на добављаче да успоставе програме контроле квалитета који би ограничили одбацивање њихових производа од стране војних службеника за набавку. Почевши од јула 1942. године, понуђени су курсеви статистичке контроле квалитета широм земље представницима ратних индустрија и агенцијама за набавку оружаних снага. Од 1943. до 1945. године, најмање 810 организација у 35 држава послало је представнике на један или више од 33 курса које је покренуо Уред за истраживање и развој производње ратног одбора. Међу овим организацијама било је 43 образовне институције, од којих су многе касније додавале курсеве контроле квалитета у своје наставне програме.

Контрола квалитета тихо је трансформисало производњу у САД од Другог светског рата. Заснована у великој мери на статистици и теорији вероватноће, контрола квалитета може истовремено смањити трошкове и побољшати перформансе и поузданост производа. На тај начин користи се потрошачу и произвођачу.

Разлози за све већи нагласак на квалитету су јасни. Током 1950-их, дошло је до периода брзе инфлације. Ако је купац једног дана купио артикл по високој цени, практично му је гарантована нижа цена него да га је купио годину дана касније.

Међутим, шездесетих година се суочавамо са веома различитим ситуацијама на тржишту. Карактеристике, посебни планови куповине и изглед више немају тајанствену привлачност коју су имали у прошлој деценији. Купци више нису задовољни производима који су „довољно добри“, а квалитетни програми у будућности ће бити крути.

Програми контроле квалитета већ су строги у већини главних индустрија. Компаније које имају уговор или подуговор са савезном владом су обавезне да предузму разрађене мере како би осигурале квалитет и поузданост производа. Многи велики произвођачи постављају сличне захтеве према добављачима сировина и готових делова.

5.3 Функционисање контроле квалитета

Да би се имплементирао ефикасан програм контроле квалитета, потребно је прво креирати и документовати приступ контроли квалитета. То укључује, [29]:

- Дефинисање стандарда квалитета за сваки производ,
- Избор методе контроле квалитета,
- Дефинисање броја производа / серије који ће се тестирати,
- Обука запослених за контролу квалитета,
- Креирање комуникационог система за пријављивање недостатака или потенцијалних проблема.

Затим се морају креирати процедуре за руковање дефектима. Узима се у обзир следеће:

- Да ли ће серије бити одбачене ако се пронађу дефектни елементи?
- Да ли ће бити даљњих испитивања и потенцијалних поправки?
- Да ли ће производња бити заустављена како би се осигурало да нема више неисправних производа?
- Како ће се обрадити нове верзије производа?

На крају, користи се одређени метод као да би се идентификовао основни узрок дефекта, направиле потребне промене и обезбедило да производи буду без грешака.

Контрола квалитета укључује тестирање јединица и одређивање да ли су унутар спецификација за коначни производ. Сврха тестирања је да се утврде потребе за корективним радњама у производном процесу. Добра контрола квалитета помаже компанијама да задовоље захтеве потрошача за бољим производима, [30].

Испитивање квалитета укључује сваки корак производног процеса. Запослени често почињу са тестирањем сировина, извлаче узорке из производне линије и тестирају готов производ. Тестирање у различитим фазама производње помаже да се утврди где се појављује производни проблем и кораци које треба предузети да би се то спречило у будућности.

Контрола квалитета која се користи у пословању у великој мери зависи од производа или индустрије. У производњи хране и лекова, контрола квалитета подразумева обезбеђивање да производ не учини потрошача болесним, тако да компанија врши хемијска и микробиолошка испитивања узорака са производне линије.

Пошто изглед припремљене хране утиче на перцепцију потрошача, произвођачи могу припремити производ према упутствима на паковању за визуелни преглед. У производњи аутомобила, контрола квалитета се фокусира на начин на који се делови уклапају и међусобно делују, обезбеђујући да мотори раде глатко и ефикасно. У електроници, тестирање може укључивати употребу бројила које мере проток електричне енергије.

5.4 Методе и алати контроле квалитета

Свака варијација у квалитету производа, тј. постављених стандарда, углавном је узрокована варијацијама у сировини, људима, машинама, методама и процедурама поступака производње и контроле. Да би се произвели квалитетни производи, ове варијације треба проверити и контролисати. Постоје углавном две методе контроле квалитета, а то су, [31]:

1. Инспекција;
2. Статистичка контрола квалитета.

5.4.1 Инспекција

Инспекција је, у ствари, уобичајена метода која се користи за контролу квалитета, не само у производњи већ и у услугама, [31].

Што се тиче инспекције у производњи, постоје три важна аспекта:

- Контрола производа

Као што само име каже, контрола производа се односи на коначни производ који се шаље на тржиште. Главна сврха контроле производа је да се осигура да производи који се шаљу на тржиште буду у складу са постављеним стандардима за квалитет. Другим речима, то је осигурање да је производ спреман за продају, савршен и без недостатака.

- Процесна контрола

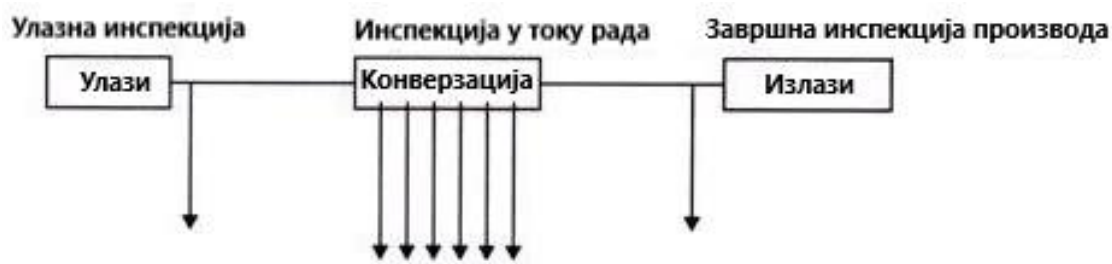
Процес контроле се наставља на контролу производа. Циљ је да се осигура да сировине и машине и опрема који се користе у производном процесу имају прописани квалитет и ознаку.

Процесна контрола користи јединици на два начина:

- Обезбеђује производњу квалитетног производа.
- Спашава расипање материјала спречавањем уских грла у процесу.
- Анализа контроле

Ово је метод који се заснива на анализама извршених контрола. Закључци изведени из контролних анализа помажу предузетнику да пронађе тачне тачке у производном процесу где леже грешке. Другим речима, омогућава предузетнику да идентификује тачке у којима почињу одступања од стандардног сета.

Контрола квалитета кроз методу инспекције приказана је на слици 5.1.



Слика 5.1. Метода инспекције [31]

5.4.2 Статистичка контрола квалитета

То је напредна метода или техника која се користи за контролу квалитета производа. Овај метод се заснива на статистичким техникама за одређивање и контролу квалитета. У овом методу за контролу квалитета производа користе се узорковање, вероватноћа и други статистички закључци. Широко се користи у контроли процеса у непрекидним процесним индустријама и у индустријама које производе робу у масовним размерама, [31].

Према овој методи, цела партија је, прво, узоркована на основу њених специфичних карактеристика и онда је подељена на три дела као што је наведено у наставку:

- Анализа узорака;
- Употреба контролних табела;
- Корективне мере.

Анализа узорака

То је метода процене квалитета серије производа на основу једног или више случајно одабраних узорака. Претпоставља се да квалитет узорка одражава квалитет серије, што је у складу с тим прихваћено или одбијено, [31].

Ово се заснива на техникама узорковања. Пре свега, идентификована је популација коју треба анализирати. Након тога, пратећи технику узорковања, одабран је и анализиран узорак који представља целу популацију.

Важно је да не треба да анализирамо све јединице популације, већ само неколико јединица, које се називају "узорковане јединице", се проучавају и анализирају. Резултат који се добија из ових јединица узорка се затим генерализује као целина. Другим речима, преглед узорака значи статистичку контролу целе произведене серије.

Кључ за статистичко узорковање је избор случајних узорака. А случајни узорци су смислени само онда када сам производни процес функционише на случајан начин - то јест, само када је "под контролом". Случајни узорци морају се узети тако да се осигура да сваки производ у датој серији има једнаку шансу да буде изабран за инспекцију. Ово није тако лако као што се чини.

Употреба контролног графика

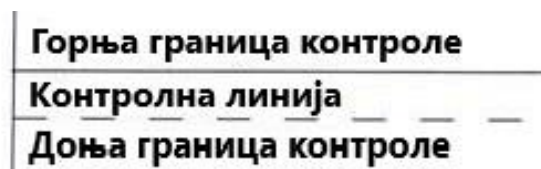
Схвативши да су бројке и графикони увек добродошли да приказују чињенице налаза, резултати добијени анализом узорака приказани су на графикону, [31].

Начин цртања графика је следећи:

- Измерити карактеристике квалитета одабраног узорка.
- Открити средњу вредност узорка и такође измерити њен опсег дисперзије.
- Затим се прикупљају подаци о средњој вредности и дисперзији.
- Узети графички папир и исцртати прикупљене податке на њему.

На тај начин се добија контролни графикон спреман да вас води о одступању квалитета вашег производа.

Тако нацртани контролни графикон ће изгледати на ккао на слици 5.2.



Слика 5.2. Графикон контроле квалитета [31]

Модерна контрола квалитета има своју основу у примењеној статистици и теорији вероватноће. Контролни графикон је централна карактеристика већине система контроле квалитета. Он се може визуализовати као четири хоризонталне линије нацртане на пресечном графичком папиру. Средњи пар линија представља горњу и доњу границу контроле, док спољни пар линија представља горњу и доњу границу толеранције.

Одређивање две контролне границе може се извршити само након посматрања перформанси машине. Неке промене у пречнику могу се пратити до узрока као што су неисправан рад машине, неисправно дрво или слабо обучени оператер машине. Али постоје и друге варијације за које не постоји додељиви узрок. Оне припадају категорији случајних варијација око којих се мало може урадити, осим да се ревидира процес.

Када су четири линије нацртане на контролној карти, оператер машине је у позицији да контролише квалитет свог излаза. Извршавањем периодичних мерења група од, рецимо, пет рупа и цртање просечног пречника сваке групе на графикону, он зна да ли је процес „под контролом“. Мерења која су изван граница толеранције, или изван контролних граница за предуг период, индикација су да је процес ван контроле - другим речима, потребна је ревизија. Сви производи који прелазе границе толеранције морају бити отписани или прерађени.

Корективне мере

Имајући нацртан контролни дијаграм квалитета, предузетник може лако и јасно лоцирати тачке одступања и узроке тога. То му омогућава да развије корективне мере за контролу квалитета производа у складу са тим. На пример, ако је варијација у квалитету проузрокована лошијим квалитетом сировине, квалитет сировине ће се повећати. Слично томе, у случају традиционалних машина, биће инсталиране нове и модерне машине, [31].

5.4.3 Алати за контролу квалитета

Постоји много приступа контроли квалитета. Тип који користите зависи од вашег специфичног производа и треба га одредити пре почетка контроле квалитета. Постоји седам примарних алата за контролу квалитета који укључују, [32]:

- Контролне листе

У својој најосновнијој контроли квалитета, морате одјавити листу ставки које су неопходне за производњу и продају вашег производа.

- Рибља кост дијаграм

Ова визија је корисна за утврђивање узрока одређеног проблема, било да се ради о материјалима, машинама, методама или људству.

- Контролни графикон

Помаже да видите како се процеси историјски мењају користећи контроле. Графикон вам помаже да пронађете и исправите проблеме како се дешавају, предвидите низ исхода и анализирајте варијације.

- Стратификација

Уместо да заједно посматрамо све факторе, стратификација раздваја податке тако да можете да идентификујете обрасце и специфична проблематична подручја.

- Парето графикон

Овај тип дијаграма даје визуалну анализу проблема и узрока тако да се можете фокусирати на најзначајнија питања.

- Хистограм

Уобичајени графикон који користи траке за идентификацију расподеле фреквенција који указују на то колико често се дешава грешка.

- Дијаграм растурања

Испртавање информација дуж две осе на овом графикону може помоћи визуелном идентификовању односа између променљивих.

Инспектор за контролу квалитета користи један или више доступних алата или метода за комплетну анализу производа или услуге како би одредио где се могу направити побољшања. Он обично добија обуку како би знао који метод треба искористити и како га правилно користити.

5.5 Најчешће врсте услуга контроле квалитета

Само најосетљивији пројекти захтевају сва четири типа инспекције. Генерално, користи се само један или два од ових алата, у зависности од ризика које открије купац, [33].

Ове услуге контроле квалитета се углавном користе за робе широке потрошње које укључују мало прилагођавања. Често се бирају различити приступи како би се осигурало да индустријски производи задовољавају спецификације (много више пажње се посвећује развоју и раној производњи).

5.5.1 Контрола пре-производње

Контрола пред производњом говори купцу о томе које врсте сировина (или компоненти) ће се користити, [33].

Фабрике се често умеју да смањују своје трошкове куповином некавалитетних материјала, а то може бити погубно за купца (нпр. погрешна врста чипа у електронском уређају).

Пре-производна контрола квалитета се такође може усредсредити на процесе који следе након почетка производње. Понекад то може бити и критично, будући да фабрике врло често зарезују углове и не поштују нацрте купца (нпр. узорци за сечење тканине се добијају од купца, и они се модификују да би процес био лакши и бржи).

Фабрика обично не може претворити неисправне улазе (компоненте или сировине) у добре производе. Проблеми је много теже открити када се материјали уграђују у коначни производ.

Стога, да би се смањили ризици у квалитету, улазни подаци се могу прегледати пре производње. Неки узорци се могу узети насумично и проверити визуелно (или послати у лабораторију на тестове). Такође, купац треба јасно да одреди који су улази прихватљиви пре него што да било који налог.

Понекад је производња већ почела када је извршена пред-производна контрола. То омогућава контролору да испита процес, а понекад и да провери неколико готових производа. Међутим, у овом случају, фабрика може одбити да заустави производњу (како би се избегло ометање линија), иако улази нису у складу или процес није задовољавајући.

Уопштено говорећи, пре-производне контроле су прилагођене прилагођеним и сложеним производима. Више стандардних артикала треба прегледати током производње.

5.5.2 Контрола током производње

Контрола током производње омогућава купцу да има идеју о просечном квалитету производа, рано у циклусу производње. То је најкориснији и најцењенији алат на располагању увозницима, који се често ослањају само на коначне инспекције, [33].

То се обично дешава када неки готови производи изађу из линија. Ако се нађу проблеми са квалитетом, оно што је већ произведено може се поново успоставити, а корективне мере се могу предузети за остатак посла. То купцима даје времена да планирају унапред, па чак и да избегну кашњења (поправци и поновни прегледи трају много више времена када се проблеми уоче након завршетка производње).

У случају да су производи неисправни, могу се појавити следећи проблеми:

- Фабрика мора прерадити производ (губитак времена).
- Ако се производи не могу поправити, фабрика би требала поново наручити компоненте и поново производити (што значи дуга кашњења и финансијски губитак за фабрику).
- Добављач може одбити поправку или поновну производњу, посебно ако су претходно договорене спецификације нејасне.

Типично, у линијској инспекцији, први производи који су изашли из линије су прегледани на усклађеност. Ако се у овој фази постављају питања, фабрика може одмах предузети неке корективне мере и избећи кашњења.

Такође, на основу датума почетка производње и броја производа који су већ готови, купац може имати добру идеју о распореду испоруке.

Трећа предност линијске инспекције је да купац зна где се производи производе. Неки добављачи покажу фабрику купцу, а затим подуговарају производњу у другој радионици.

То значи да инспектори треће стране могу или проверити да ли су први готови производи изашли из линије или да дођу у каснијој фази и да изаберу узорке из већег базена готових производа.

У сваком случају, производи у процесу се ретко проверавају, иако могу бити веома вредни. Потребно је да обучени техничар поуздано детектује грешке на недовршеним производима.

5.5.3 Коначна случајна контрола

Ово је најпопуларнија врста контроле квалитета за увознике. Одржава се када су сви производи готови и спремни за испоруку, [33].

Коначна случајна контрола (која се назива и “контрола пре отпреме”) је далеко најчешћи тип контроле квалитета. Одржава се једном када се заврши 100% количине пошиљке и најмање 80% се пакује, тако да може бити прави случајни преглед (то није случај ако се квалитет провери раније) и добављачи не могу играти игре.

Упаковани производ је спреман за отпрему. У многим случајевима, инспектор прихвата до 20% непакираних производа по референци. На овај начин, инспекција се често може одвијати без одлагања пошиљке.

Усклађеност производа се проверава са листом критеријума које је одредио купац (количина производа, израда, функција, сигурност, аспект, величина, паковање...).

Купцима се саветује да траже од својих контролора да прате које су кутије отворене. На тај начин, друга “спот” инспекција може дати идеју о томе колико је озбиљно извршена контрола.

Од ове три контроле, ово је једина у којој се може рачунати укупна количина производа, и где се узорци готових производа могу нацртати на прави начин - и тако представљати целу серију.

Као резултат тога, резултати финалних контрола су поузданији. Неки купци претпостављају да инспектори треба да гарантују квалитет целокупне количине наруџбине када се инспекција обави. Нажалост, то је немогуће из више разлога:

- Након обављеног прегледа и пре испоруке, многе ствари се могу догодити. Непоштена фабрика може испоручити мању количину, заменити садржај картона, итд. Постоји решење да се то избегне, а то је надзор контејнера.
- Резултат инспекције није 100% поуздан. Чак и случајни узорак може бити бољи од просечних производа, контролор би могао направити грешку, добављач може подмитити инспектора итд.
- Накнада за инспекцију је потпуно пропорционална укупној вредности робе која је у питању.

5.5.4 Контрола пуњења контејнера

Контрола пуњења контејнера, као и пре-производна контролаа, ретко се користи. Али то може бити вредна опција у неким специфичним случајевима, [33].

Може бити корисно ако купац има прецизан план утовара и треба га врло прецизно поштовати (нпр. неке кутије су превише крхке да би се ставиле на дно), или ако паковање није конвенционално (нпр. неке одеће висе на шипкама, без заштите од картона).

Он такође може да обезбеди да се праве врсте производа испоручују у одговарајућој количини, када увозник не верује свом снабдевачу или када неколико добављача донесе своје производе за консолидацију.

5.6 Унутрашња и спољашња контрола квалитета

У зависности од производа који се производи и продаје, може се одлучити за интерне или екстерне контроле квалитета, [32].

Ако се успостави интерни протокол за проверу система, то се назива интерна контрола квалитета. Може да се креће од рутинске провере опреме, да сарадник редовно прелази на анализу података другог запосленог или да ради на стандардима и контролама.

Када се производи или подаци шаљу спољашњој фирми која није повезана са вашом компанијом, то је екстерна контрола.

6. Ласерска контрола квалитета

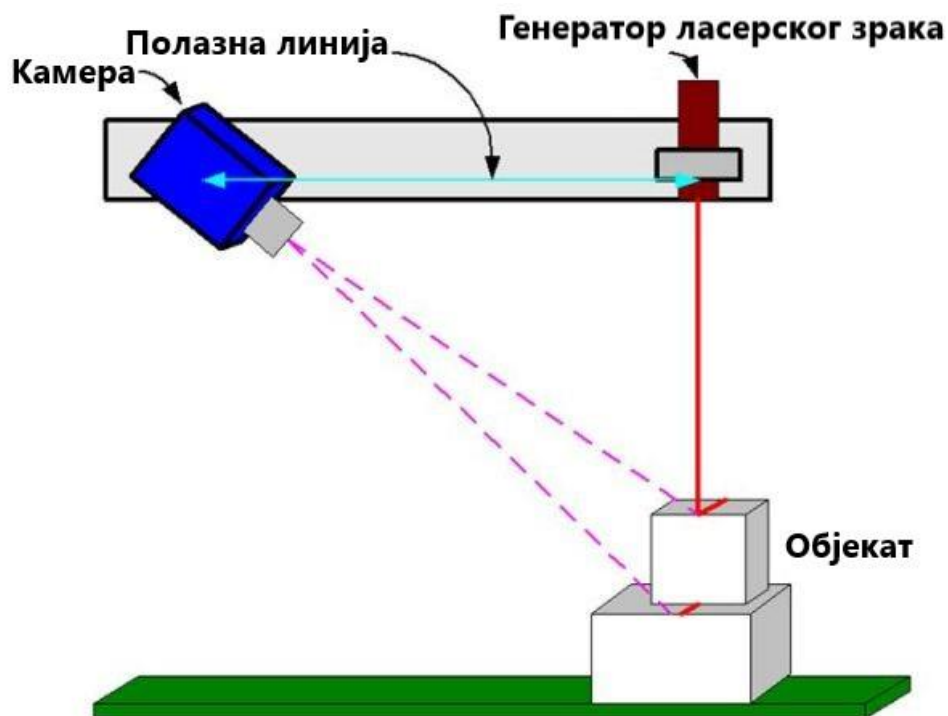
Технологија ласерског мерења је била корисница све веће потражње за осигурањем квалитета, захваљујући својим могућностима без контакта, без одржавања и брзом мерењу. Да би се оптимизовали производни процеси и побољшао квалитет производа, лична контрола квалитета у различитим фазама производње постала је неопходна, на пример мерење геометријских параметара као што су растојање, дебљина, пречник и контуре површине, [34].

Ова технологија је направила огроман напредак у протеклих 20 година. Поред брзе, бесконтактне и без одржавања методе за мерење оптичким системима, главна предност ласерске мерне технологије уз коришћење оптичких система лежи у њеној прецизности, која је раније могла да се добије само помоћу тактилних мерних система. У поређењу са другим методама мерења без контакта, сензори ласерског померања имају предност пред капацитивним или индуктивним сензорима удаљености тако што могу да мере већу површину. У поређењу са ултразвучним и радарским сензорима, резолуција ласерског померања је прецизнија. Такође, ласерски сензори нису под утицајем електромагнетних поља.

Принцип триангулације је најстарији и још увек најчешћи метод који се користи за оптичко мерење удаљености без контакта у индустријској технологији сензора. Напредак полупроводничког ласера довео је до развоја ласерских аналогних сензора погодних за употребу у индустрији, који раде по принципу триангулације користећи видљиве црвене ласере и снагу емитовања мању од 1 mW у оквиру опсега заштите ласера класе 1 или 2. Ове класе заштите не захтевају посебне заштитне мере. То је отворило пут за сигурну и распрострањену употребу ласерских сензора широм индустрије. Имајући у виду стално повећање перформанси, у комбинацији са смањењем цена у микроелектроници и микропроцесорима, више ASICа и бржи микропроцесори (или микроконтролери) могу бити интегрисани у ласерске сензоре. Комплексна обрада сигнала модерних ласерских мерних система може да задовољи прецизност и брзину коју захтева технологија аутоматизације. Поред тога, премијум, специјални оптички / микро-оптички објективи (системи) гарантују реализацију фокусираних ласерских снопова, с једне стране, и, с друге стране, минимизирају грешке оптичког представљања на пријемном елементу.

6.1 Ласерска триангулација

Ласерска триангулација (слика 6.1) је једноставна техника за враћање информација о површинском облику објеката. Употреба верзије базиране на линијама нуди повећану брзину, конфигурабилност и може се имплементирати користећи саставне компоненте, [19].



Слика 6.1. Дијаграм ласерске триангулације [35]

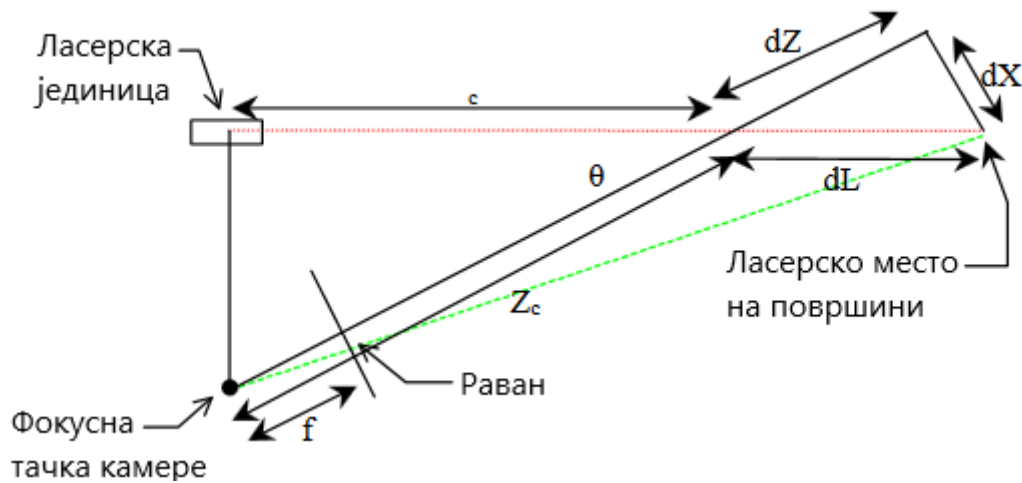
Положајно осетљиви уређаји (PSD) су се углавном користили као детектори за трошковне разлоге када су први пут развијени ласерски аналогни сензори. Међутим, ласерски аналогни сензори и ласерски мерни системи уведени у последњих 10 година уместо тога се готово искључиво ослањају на CCD или CMOS линеарне сензоре. Једна од предности CCD / CMOS линеарних сензора у односу на PSD елементе је њихова способност да читају сваки појединачни пиксел секвенцијално и директно. Осим PSD-а, важна је не само апсолутна количина обрађене светлости (тј. одређивање најинтензивније тачке унутар расподеле светлости), већ и релативна осветљеност или дистрибуција светлости преко читаве CCD или CMOS линије. Брзи микропроцесори / микроконтролери и специјални ASIC-и решили су проблем извођења захтевних рачунања и обезбеђивања комплексних аналитичких електронских компоненти, [34].

Употреба CCD и CMOS сензора углађивала је начин примене ласерских аналогних сензора широм индустрије, за мерење стандардних објеката као и за захтевније примене са сложеним површинским и / или материјалним својствима - високо рефлектујуће површине као што су хромирани делови или металне површине обојене светлим бојама и високо упијајућим материјалима као што је гума. CMOS сензори су постали популарнији у ласерским аналогним сензорима. Они су веома погодни за употребу са мерним системима због њиховог већег динамичког опсега. Поред веће осетљивости на светлост и динамику светлости у односу на ласерске аналогне сензоре са CCD сензорима, ласерски аналогни сензори са CMOS сензорима имају и друге техничке предности - достижну брзину узорковања од 100 kHz, директан приступ сваком појединачном пикселу, као и мању потрошњу енергије. CMOS сензори су такође генерално исплативији од CCD сензора.

6.1.1 „Stak“ model

Линијска ласерска триангулација може се моделирати као сноп ласерских зрака и сензора. Овај модел омогућава извођење једначина за рад система. Пошто је систем способан да подржава више камера, модел користи ласерски сноп као своју примарну осу, мада се може користити координатни простор камере, [19].

На слици 6.2 је дат шематски приказ пресека кроз систем, а ласер и камера / сензор су постављени тако да формирају троугао. Када ласерски зрак осветли површину објекта, тачка осветљења се пројектује, ка жижној тачки камере, на сензор слике.



Слика 6.2. Шематски приказ система [19]

Ова пројекција перспективе може се моделирати моделом пинхол камера, тако да је положај на равни слике повезан са положајем објекта:

$$dX = \frac{i(Z_c + dZ)}{f} \quad (6.1)$$

Димензије малог троугла су повезане:

$$\frac{dX}{\sin(\theta)} = \frac{dZ}{\sin(90-\theta)} \quad (6.2)$$

$$dL = \frac{dX}{\sin(\theta)} \quad (6.3)$$

Прерасподелом једначине 6.2 за dZ и заменом у 6.1 добијамо:

$$dX = \frac{i}{f} \left(Z_c + dX \frac{\sin(90-\theta)}{\sin(\theta)} \right) \quad (6.4)$$

који се може преуредити да би се добила једначина за dX:

$$dX = \frac{Z_c \cdot i \cdot \sin(\theta)}{(\sin(\theta) \cdot f - i \cdot \sin(90-\theta))} \quad (6.5)$$

ово је онда замењено за dX у једначини 6.3 и преуређено да би дало:

$$L = L_c + \frac{Z_c \cdot i}{\sin(\theta) \cdot f - i \cdot \sin(90 - \theta)} \quad (6.6)$$

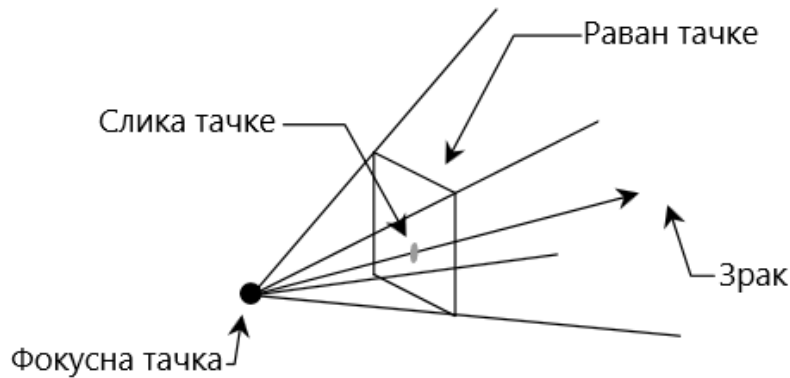
Сличним методама једначина за позицију дуж ласерске линије, може се извести у односу на j (ред) позицију на равни слике, где се dZ може извести из једначине 6.2:

$$Y = \frac{j(Z_c + dZ)}{f} \quad (6.7)$$

6.1.2 Равански модел

Горе наведени модел претпоставља да систем функционише као сноп сензора, са перспективном пројекцијом. На практичнијем нивоу ова претпоставка се претвара у захтев да ласерски сноп буде савршено поравнат, окомито на редове CCD низа. Ово је изузетно тешко осигурати, па се може користити алтернативни модел, [19].

Овај модел долази од распоређивања зрака. Перспективна пројекција, која се јавља у камери, моделирана је као зрак. Зрак потиче од извора камере (фокалне тачке) и пролази кроз пиксел. Ово формира вектор приказан на слици 6.3.



Слика 6.3. Распоређивање зрака [19]

Скуп тачака које леже дуж зрака, може се изразити помоћу једначине зрака:

$$P = O + t\vec{V}, t \geq 0 \quad (6.8)$$

Ласерска трака постоји као равнина у простору камере, која има облик:

$$ax + by + cz + d = 0 \quad (6.9)$$

Дакле, заменом једначине зрака 6.8 у равнинску једначину 6.9, можемо решити t :

$$a(O_x + tV_x) + b(O_y + tV_y) + c(O_z + tV_z) + d = 0 \quad (6.10)$$

$$t = -\frac{aO_x + bO_y + cO_z + d}{aV_x + bV_y + cV_z}$$

Тако се тачка у 3D простору може наћи пројектовањем зрака, кроз пиксел слике и на раван, користећи једначине 6.10 и 6.8.

6.1.3 Конфигурација ласерског триангулационог система

Теоретска конфигурација ласерског триангулационог система може се видети из Стак модела. Тачност система зависи од угла триангулације и жижне даљине, које се могу променити да би се обезбедио потребан баланс између опсега и тачности, [19].

Угао триангулације

Угао триангулације утиче на однос између dL и dX , као што је дефинисано у једначини 6.3, што је шири угао преовладавајући помак у равнини слике користи прецизно контролисана огледала да би изменио овај угао и тиме конфигурисао опсег / тачност система. Међутим, треба напоменути да како се угао повећава, систем постаје подложнији ефектима оклузије.

$$\lim_{\theta \rightarrow 90} \frac{1}{\sin(\theta)} \Rightarrow 1 \quad (6.11)$$

Жижна даљина

Жижна даљина (објектива сензора) ефективно контролише видно поље камере / сензора, пошто је ово видно поље сужено, подручје видљиво фотоапарату је мање и тако се повећава резолуција сензора, што повећава резолуције система. Тако се величина површине која је видљива пикселу сензора, на датој удаљености, смањује:

$$\lim_{f \rightarrow \infty} \frac{Z}{f} \Rightarrow 0 \quad (6.12)$$

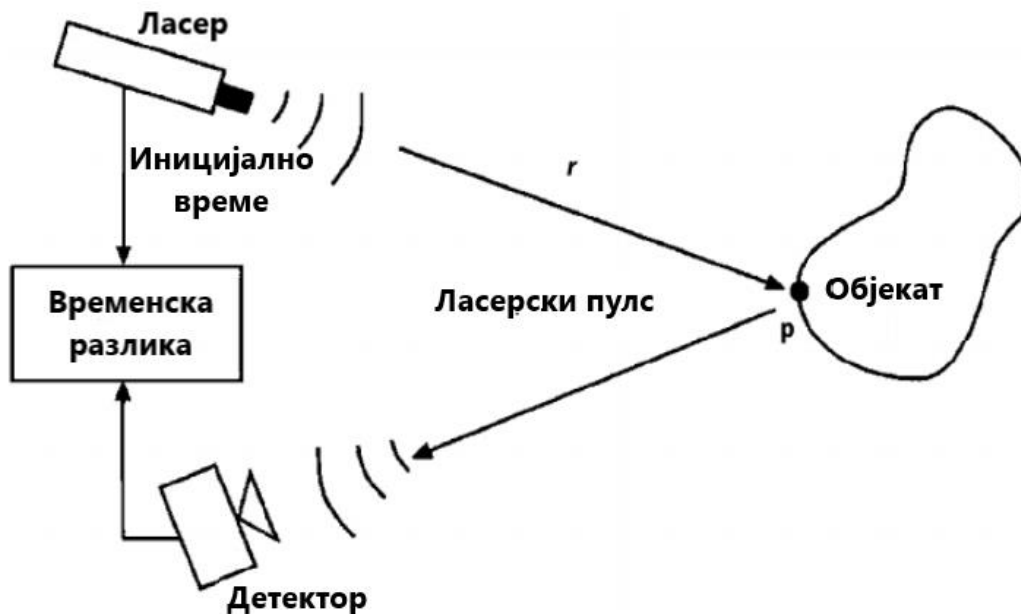
6.2 Време лета

Модулисани снопови такође користе време потребно за путовање до циља и назад, али време за једно кружно путовање се не мери директно. Уместо тога, јачина ласера се брзо мења како би произвела сигнал који се мења током времена. Временско кашњење се индиректно мери поређењем сигнала од ласера са одложеним сигналом који се враћа са циља. Један од уобичајених примера овог приступа је "мерење фаза" у којем је излаз ласера обично синусоидан, а фаза излазног сигнала се упоређује са рефлектираном светлошћу, [36].

Мерење фазе је ограничено тачношћу фреквенције модулације и способношћу да се реши разлика у фазама између сигнала. Неки модулисани даљиномери снопа раде на принципу конверзије опсега и фреквенције, што нуди неколико предности у односу на фазно мерење. У овим случајевима, ласерско светло које се рефлектује од мете се сакупља помоћу сочива и фокусира се на фотодиоду унутар инструмента. Добијени сигнал се појачава до ограниченог нивоа и инвертује, и користи се директно за модулацију ласерске диоде. Светлост ласера се колимира и емитује из центра предње стране сензора. Ова конфигурација формира осцилатор, са ласером који се укључује и искључује сопственим сигналом. Време потребно да светлост дође до циља и повратка плус време потребно за појачавање сигнала одређује период осцилације или брзину којом се ласер укључује и искључује. Овај сигнал се затим дели и временски одређује унутрашњим сатом како би се добило мерење опсега. Мерење је донекле нелинеарно и зависи од јачине сигнала и температуре, тако да се процес калибрације може извршити у сензору како би се уклонили ови ефекти.

Модулисани снопови сензора обично се користе у применама средњег опсега, за растојања од неколико центиметара до неколико десетина стопа на некооперативне објекте. Са кооперативним објектима, као што су рефлектори, опсег се може проширити на неколико стотина или хиљада стопа.

На слици 6.4 дат је пример ативног стерео система. Ласерска тачка емитује импулс који се рефлектује од објекта од интереса. Разлика између почетног времена преношења пулса и времена које се враћа у детектор корелира са удаљеностима објекта.



Слика 6.4. Време лета [37]

Пошто је брзина светлости позната константа, растојање између скенера и објекта може се израчунати мерењем времена које је потребно да се пулс светлости врати у скенер. Дакле, формула за израчунавање удаљености на основу времена лета је једноставно, [35]:

$$d = \frac{c \cdot t}{2} \quad (6.13)$$

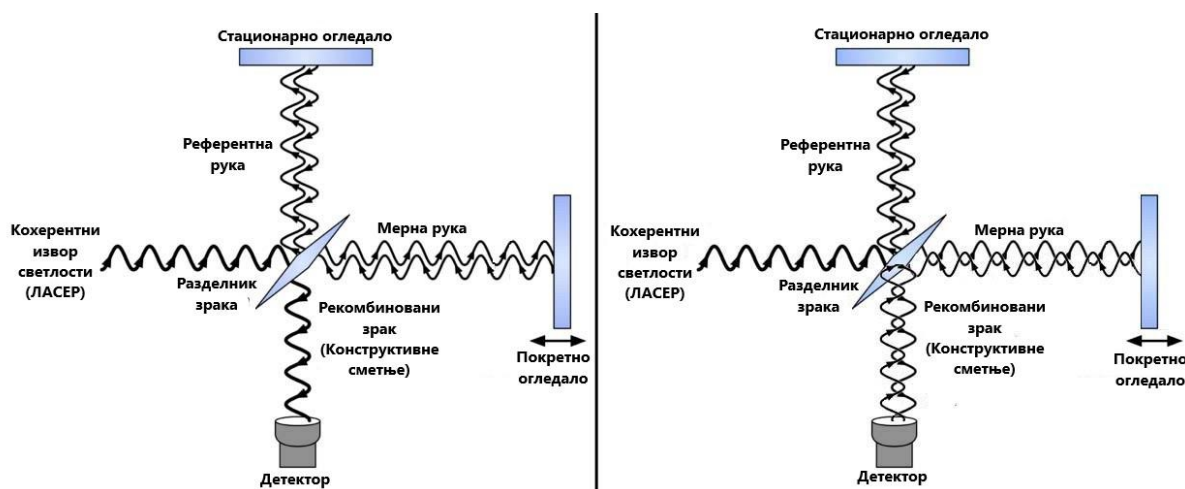
Као последица тога, тачност сензора времена проласка лета зависи од тачности хронометра ласерског скенера.

6.3 Ласерски интерферометри

Ласерски интерферометри су модерни стандард за прецизно мерење дужине. Они нам дозвољавају да заменимо дефиницију метра која се заснива на физичком мерном инструменту са дефиницијом заснованом на брзини светлости. Интерферометри се користе у многим индустријским и научним мерењима, [11].

Тренутна дефиниција метра је удаљеност коју светлост прелази у вакууму током $1 / 299,792,458$ секунде. Дефиниција метра се користи за мерење ласерским интерферометрима.

Ласери производе светло које је цело у фази и које је познато као кохерентна светлост и идеално је за употребу у мерном интерферометру. Овде је описан најједноставнији облик интерферометра, познат као Микхелсонов интерферометар (слика 6.5) након свог проналазача. Ласерска светлост је усмерена на раздвајач снопа који узрокује да се приближно половина светла преусмери дуж референтне руке, а преостала половина да се настави дуж мерне руке. Огледала на крају сваке руке враћају светло, а раздвајач снопа узрокује да се рекомбинује са приближно 50% рекомбинованог снопа усмереног ка детектору, а преостало светло се усмерава назад ка извору. Ако је светло из референтне руке и мерне руке тачно у фази онда ће доћи до конструктивне интерференције и детектоваће се јак сигнал. Ако, с друге стране, постоји разлика фазе од 180° између референтне руке и мерне руке онда ће доћи до деструктивне интерференције и сигнал на детектору ће бити близу нуле.



Слика 6.5. Микхелсонов интерферометар мери удаљеност коју помера огледало бројећи светле и тамне ресурсе док се светлост која је пролазила дуж мерне руке креће унутра и ван фазе са светлосићу која је путовала дуж референтне руке [11]

Када се померајуће огледало помера дуж осе мерне руке, рекомбиновани зрак који се креће унутра и ван интерференције ће проузроковати синусоидну варијацију интензитета на детектору. Пошто светлост путује у оба правца дуж мерне руке, осетљивост на кретање је удвостручена. То значи да ће се један потпуни циклус, од максималног интензитета, кроз минимални интензитет, и назад до максимума, појавити када се покретно огледало помери за половину таласне дужине светлости.

Да бисмо мерили један метар користећи темељну дефиницију метра, морамо знати фреквенцију извора светлости (f) и брзину светлости за медијум кроз који ће се светлост ширити (C). Таласна дужина извора светлости (λ) се затим проналази помоћу таласне једначине:

$$\lambda = \frac{C}{f}$$

За мерење дужине L покретно огледало треба померати док се броји N максимума интензитета пулса на детектору где је N дат изразом:

$$N = \frac{2 \cdot L}{\lambda}$$

Ако је потребна резолуција мања од половине таласне дужине, онда се интензитет сигнала између минималне и максималне вредности може користити за одређивање тачног положаја покретног огледала.

6.4 3D ласерско скенирање

На најосновнијем нивоу, ласерско скенирање укључује комбинацију контролисаног управљања ласерским снопом и мерењем удаљености. Ротирајући енкодер контролише кретање скенирања подешавањем вишеструких скенираних огледала за вођење греда, [35].

Позиционирање ласерског снопа у две димензије захтева или ротирање једног огледала дуж две осе или, за брже скенирање, рефлексију снопа на два уско размакнута огледала постављена на ортогоналне осе. Ласери се такође могу позиционирати у три димензије преко серво контролисаног система сочива познатог као фокус или Z-помераач.

Појединачно скенирање генерално није довољно да би се произвео комплетан модел субјекта и тако вишеструко скенирање мора бити спојено у заједнички референтни систем кроз процес познат као поравнање или регистрација.

3D ласерско скенирање је бесконтактна, недеструктивна технологија која дигитално снима облик физичких објеката користећи линију ласерског светла. 3D ласерски скенери стварају “облаке тачака” података са површине објекта. Другим речима, 3D ласерско скенирање је начин за хватање тачне величине и облика физичког објекта у свет компјутера као дигиталне тродимензионалне репрезентације, [38].

3D ласерски скенери мере фине детаље и хватају слободне облике како би брзо генерисали високо прецизне тачкасте облаке. 3D ласерско скенирање је идеално погодно за мерење и преглед обрађених површина и сложених геометрија које захтевају огромне количине података за њихов тачан опис и када је то непрактично са употребом традиционалних метода мерења или сензора за додир.

3D ласерско скенирање користи или фазну или ЛИДАР технологију за прецизно и ефикасно снимање тродимензионалних података у широком распону поставки, без обзира на величину и карактеристике површине. Без физичког додира са оним што се мери, 3D ласерско скенирање ствара јасне и прецизне дигиталне записе постојећих услова. Скенирање производи милионе тачака мерења које се називају “координате”. Заједно тачке креирају сирове податке у облику “облака тачака”. Свака координата у облаку тачака садржи x, y и z вредност. Замршен детаљ ових тачака значи да особа може добити тачно мерење од било које тачке до било које друге тачке у облаку тачака, [39].

6.4.1 Предности 3D ласерског скенирања

Предности 3D ласерског скенирања су, [39]:

- Брзина

Један ласерски скенер може да сними до милион 3D тачака података у секунди, пружајући невероватно прецизне и богате детаље сваког аспекта вашег пројекта.

- Прецизност

Појединачна мерења стечена мерним тракама или ручним уређајима подлежу грешкама. Ласерско скенирање је најпрецизнији облик расположивог мерења, који даје прецизност од неколико милиметара или мање.

- Смањење трошкова и премена наруџбина

Укључивање ласерског скенирања у дизајн вашег пројекта обезбеђује тачне и потпуне информације, избегавајући трошкове изнајмљивања опреме, ручно мерење, сукобе, промену наруџби, да не помињемо застоје у пројекту и главобоље.

- Одговори на неочекивана питања

3D скенирање ће ухватити додатне податке, елиминишући потребу за повратком у пројекат да би се одговорило на неочекивана питања.

- Смањење времена искључивања

Ласерско скенирање је брзо, сигурно и неинтрузивно - елиминише или минимизира оперативне искључености и неугодности клијента.

- Безбедност

3D скенирање може да обезбеди мерења на тешко доступним или опасним локацијама, а да радници не буду у опасности. Скенирање се обавља безбедно са земље без потребе за појасевима или дизалицама.

6.4.2 Процес 3D скенирања

Прикупљање података путем 3D ласерског скенирања

Објект који се ласерски скенира налази се на дну дигитализатора. Специјализовани софтвер покреће ласерску сонду изнад површине објекта. Ласерска сонда пројектује линију ласерског светла на површину, док две сензорске камере континуирано бележе промену удаљености и облика ласерске линије у три димензије (XYZ) док се креће дуж објекта, [38].

Резултирајући подаци

Облик објекта се појављује као милиони тачака које се називају „облак тачака“ на компјутерском монитору док се ласер креће око хватања целокупног облика површине објекта. Процес је веома брз, прикупљајући до 750.000 тачака у секунди и веома прецизно (до $\pm .0005''$), [38].

Избор модела зависи од апликације

Након што се створе огромне датотеке са облацима тачака, оне се региструју и спајају у једну тродимензионалну репрезентацију објекта и накнадно обрађују са различитим софтверским пакетима погодним за специфичну примену, [38].

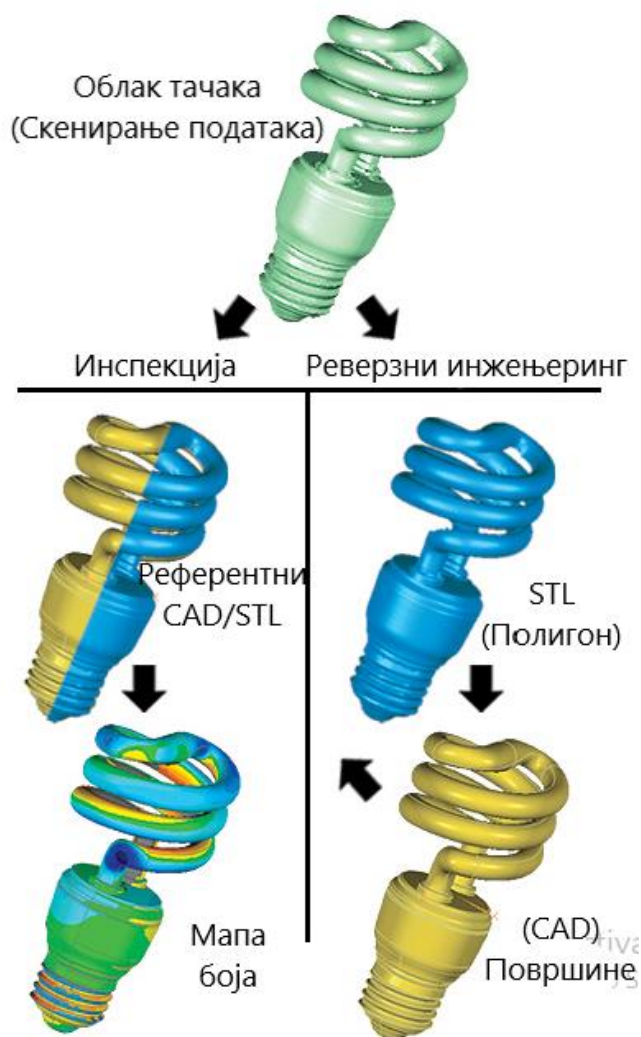
Подаци у облаку за инспекцију

Ако се подаци користе за инспекцију, скенирани објекат се може упоредити са CAD номиналним подацима дизајнера. Резултат овог процеса упоређивања се доставља у облику "извјештаја о одступању карте боја" у PDF формату, који сликовито описује разлике између података скенирања и CAD података, [38].

CAD модел за реверзни инжењеринг

Ласерско скенирање је најбржи, најпрецизнији и аутоматизовани начин за добијање 3D дигиталних података за реверзни инжењеринг. Поново, користећи специјализовани софтвер, подаци о облаку тачака се користе за креирање 3D CAD модела геометрије тог дела. CAD модел омогућава прецизну репродукцију скенираног објекта, или се објекат може модификовати у CAD моделу да би се исправиле неправилности. Ласерски дизајн може да обезбеди површински модел или сложенији модел чврстог материјала, који год резултати су потребни за примену, [38].

На слици 6.6 дат је промер тродимензионалног ласерског скенирања објекта.

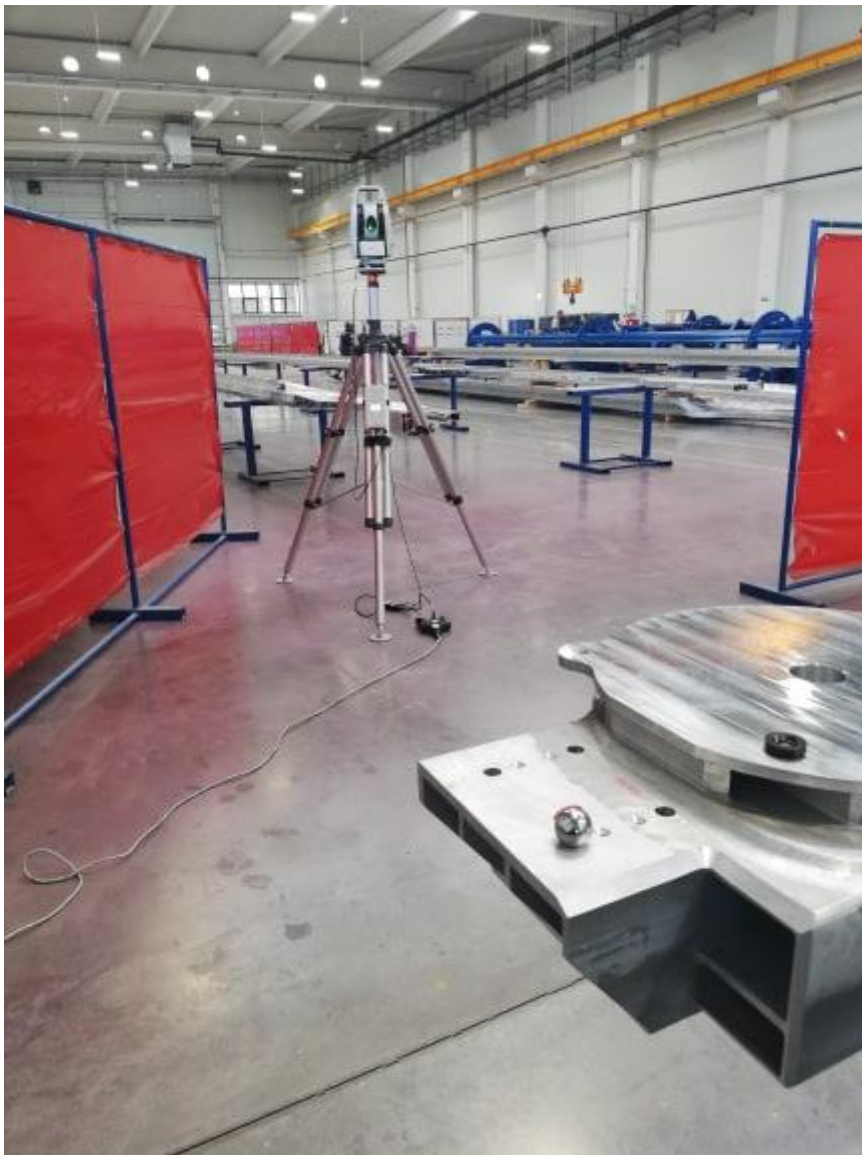


Слика 6.6. 3D ласерско скенирање [38]

7. Пример ласерске контроле квалитета

7.1 Контрола квалитета помоћу „Leica Absolute Tracker AT401“

На слици 7.1 приказан је процес ласерске контроле квалитета помоћу Leica Absolute Tracker AT401.



Слика 7.1. *Leica Absolute Tracker AT401*

Ласерски сноп се усмерава према рефлектору, као што је приказано на слици 7.1, при чему се врши мерење висине између почетне тачке (слика 7.2) и крајње тачке (слика 7.3).



Слика 7.2. Почетна тачка



Слика 7.3. Крајња тачка

7.2 Пример резултата ласерске контроле квалитета

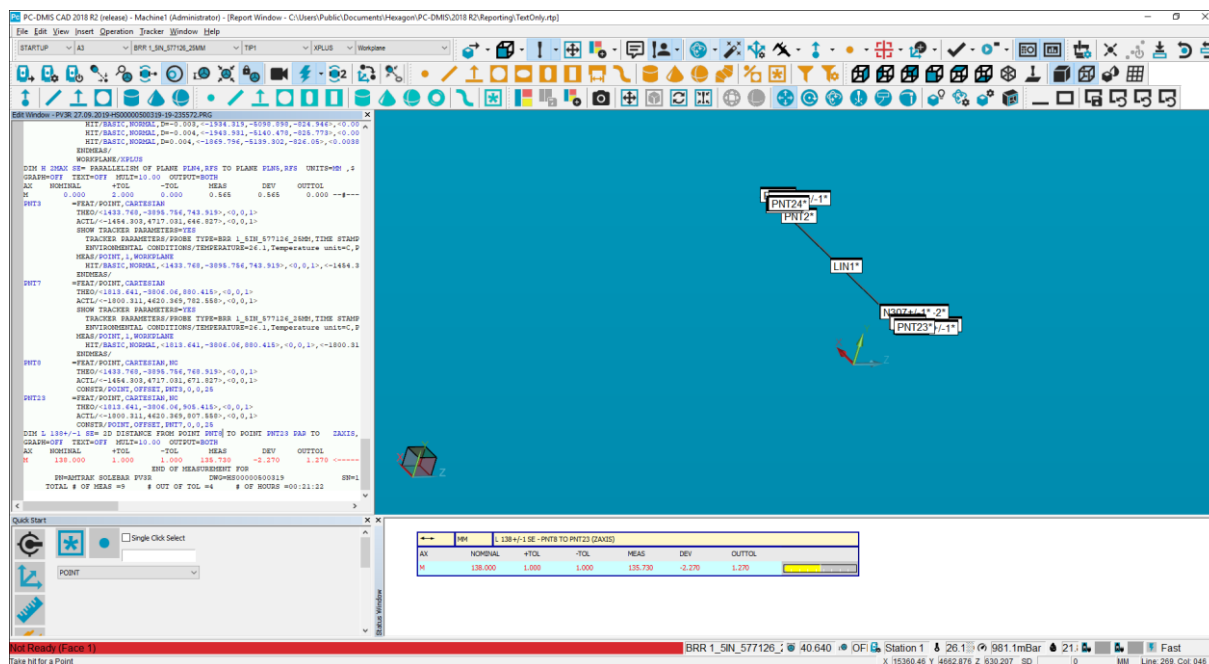
PC-DMIS 2018 R2 најновије је издање Hexagon Manufacturing Intelligence водећег светског софтверског пакета за димензионалне мере за координатне мерне машине (CMM), [40].

PC-DMIS води пут ка револуционарном мерењу, пионирским технологијама као што су:

- употреба CAD модела у процесу контроле,
- директно повезивање CAD система и мерних софтвера преко његове Direct CAD Interface (DCI) технологије,
- имплементација комплетног сета за мерење лима прилагођена аутомобилској индустрији,
- дигитално симулирање мерења у ванмрежном виртуалном CMM окружењу,
- лако поравнавање сложених контурних делова коришћењем пробојне итеративне технологије поравнавања.

PC-DMIS је стандардна опрема на свим мерним уређајима компаније Hexagon Manufacturing Intelligence, а доступан је и као пакет за накнадну уградњу за већину других произвођача мерне опреме, омогућавајући корисницима друге опреме да искористе предност PC-DMIS технологије. PC-DMIS долази у три основне конфигурације: Pro, CAD и CAD ++, са опционим модулима који су доступни за фино подешавање за специфичне потребе. Такође, доступан је и у офлајн верзији за виртуелно програмирање.

На слици 7.4 дат је пример резултата ласерске контроле квалитета, урађене у програму PC-DMIS 2018 R2.



Слика 7.4. Резултати

На левој страни слике налази се стабло у коме се налазе добијени резултати мерења. У доњем делу дати су подаци везани за номиналну вредност комада, толеранције ($\pm$), измерену вредност комада, девијацију комада, као и вредност колико је комад ван толеранција. Такође, представљен је и график добијених резултата.

8. Закључак

У науци, мерење је скуп квантитативних или нумеричких података који описују својство неког објекта или догађаја. Мерење се врши упоређивањем количине са стандардном јединицом. Пошто ово поређење не може да буде савршено, мерења инхерентно укључују грешку, која представља то колико измерена вредност одступа од праве вредности. Наука о мерењу се назива метрологија.

Димензионално мерење је како познајемо и квантификујемо величина и облик ствари. Она укључује дужине и углове, као и геометријска својства као што су правост и равност. Мерење димензија је од суштинског значаја за међусобну заменљивост и глобалну трговину. На тај начин осигуравамо да се ствари уклапају заједно. Без глобалних стандарда дужине као основе за стандардизоване делове глобализована индустрија не би била могућа.

Мерење без контакта игра важну улогу за произвођаче у данашњем свету инжењеринга. Данас постоји тренд раста минијатуризације, посебно у електроници, медицинским уређајима и рачунарској индустрији. Због своје мале природе, мали делови су често склонији контаминацији, деформацији или оштећењу чак и благим додиром са сондом. Системи бесконтактне инспекције који укључују ласер, видео и оптику обично решавају овај проблем.

Контрола квалитета у производњи је сваки напор који је направљен како би се прегледао квалитет производа, односно како би се идентификовали и отклонили њихови недостаци. У идеалном случају, недостаци ће бити пронађени и поправљени пре него што производи икада доспу у руке потрошача, али у неким случајевима може се пронаћи недостатак који ће покренути опозив или друге напоре да се реши проблем након што је производ испоручен.

Технологија ласерског мерења је била корисница све веће потражње за осигурањем квалитета, захваљујући својим могућностима без контакта, без одржавања и брзом мерењу. Да би се оптимизовали производни процеси и побољшао квалитет производа, лична контрола квалитета у различитим фазама производње постала је неопходна, на пример мерење геометријских параметара као што су растојање, дебљина, пречник и контуре површине.

Поред брзе, бесконтактне и без одржавања методе за мерење оптоелектричним системима, главна предност ласерске мерне технологије уз коришћење оптоелектричних система лежи у њеној прецизности, која је раније могла да се добије само помоћу тактилних мерних система. У поређењу са другим методама мерења без контакта, сензори ласерског померања имају предност пред капацитивним или индуктивним сензорима удаљености тако што могу да мере већу површину. У поређењу са ултразвучним и радарским сензорима, резолуција ласерског померања је прецизнија. Такође, ласерски сензори нису под утицајем електромагнетних поља.

Литература

[1] Грујовић А., Техничка мерења I, Основи теорије мерења, Машински факултет у Крагујевцу, 1999.

[2] Грујовић А., Грујовић Н., Техничка мерења II, Основи технике мерних средстава, Машински факултет у Крагујевцу, 2005.

Линкови са интернета:

[3] <https://www.thoughtco.com/definition-of-measurement-605880> , приступљено: 10.06.2019.

[4] <https://van.physics.illinois.edu/qa/listing.php?id=812&t=direct-and-indirect-measurements> , приступљено: 12.06.2019.

[5] <https://www.brighthubengineering.com/hvac/40280-methods-of-measurement/> , приступљено: 12.06.2019.

[6] <https://info.ringfeder.com/engineers-blog/measuring-methods-and-measuring-errors> , приступљено: 12.06.2019.

[7] <https://what-when-how.com/metrology/measuring-instruments-metrology/> , приступљено: 12.06.2019.

[8] <https://info.ringfeder.com/engineers-blog/measuring-methods-and-measuring-errors> , приступљено: 15.06.2019.

[9] <https://www.watelectrical.com/different-types-of-errors-in-measurement-and-measurement-error-calculation/> , приступљено: 15.06.2019.

[10] <https://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/measurement-error/> , приступљено: 15.06.2019.

[11] <https://www.muelaner.com/> , приступљено: 17.06.2019.

[12] <https://www.kellertechnology.com/blog/6-types-of-dimensional-measurement-tools/> , приступљено: 17.06.2019.

[13] <https://www.third.com/products/technology/non-contact-measurement> , приступљено: 18.06.2019.

[14] <http://researchonline.ljmu.ac.uk/id/eprint/4944/1/261639.pdf> , приступљено: 18.06.2019.

[15] <https://books.google.rs/books?id=BmjrCAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Optical+measurements+methods+laser&hl=sr&sa=X&ved=0ahUKEwiYIYThsvPiAhUszqYKHeGOAEcQ6AEIJzAA#v=onepage&q&f=false> , приступљено: 18.06.2019.

[16] <https://www.qualitydigest.com/magazine/2009/apr/article/understanding-optical-measurement.html> , приступљено: 18.06.2019.

[17] <https://hub.hamamatsu.com/us/en/application-note/measuring-distance-with-light/index.html> , приступљено: 18.06.2019.

[18] https://uni-obuda.hu/journal/Rovid_43.pdf , приступљено: 19.06.2019.

- [19] <https://pdfs.semanticscholar.org/7787/b3b9080f889762d56403681f9e779aa12bf4.pdf> ,
приступљено: 19.06.2019.
- [20] <https://leica-geosystems.com/products/laser-tracker-systems>, приступљено: 06.09.2019.
- [21] <https://www.qualitydigest.com/inside/metrology-article/how-laser-trackers-work-062509.html>, приступљено: 06.09.2019.
- [22] https://www.optical-metrology-centre.com/Downloads/Tech_Briefs/TechBrief_LaserTracker.pdf, приступљено: 06.09.2019.
- [23] <https://www.axist.it/en/cmm--leica-absolute-tracker-at401>, приступљено: 07.09.2019.
- [24] <https://www.pesmetrology.com/hire/hire-the-leica-at401-laser-tracker/#at401-features>,
приступљено: 07.09.2019.
- [25] https://www.swisstek.com/images/wild_leica/Leica_Absolute_Tracker_AT401_white_paper.pdf,
приступљено: 07.09.2019.
- [26] <https://www.creativesafetysupply.com/articles/quality-control-in-manufacturing/> ,
приступљено: 20.06.2019.
- [27] https://en.wikipedia.org/wiki/Quality_control#History_and_introduction , приступљено:
20.06.2019.
- [28] <http://qualitymanagementsystem.com/total-quality-management/the-history-of-quality-management/> ,
приступљено: 20.06.2019.
- [29] <https://www.graphicproducts.com/articles/quality-control-in-manufacturing/> ,
приступљено: 20.06.2019.
- [30] <https://www.investopedia.com/terms/q/quality-control.asp> , приступљено: 20.06.2019.
- [31] <http://www.yourarticlelibrary.com/production-management/quality-control-qc-definition-importance-and-tools-of-quality-control/41085> , приступљено: 20.06.2019.
- [32] <https://bizfluent.com/list-7867675-types-quality-control.html> , приступљено:
20.06.2019.
- [33] <https://qualityinspection.org/> , приступљено: 20.06.2019.
- [34] <https://www.controleng.eu/article/44571/Laser-measurement-for-quality-control.aspx> ,
приступљено: 22.06.2019.
- [35] <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/12390/Quality-Basics-How-Does-3D-Laser-Scanning-Work.aspx> ,
приступљено: 22.06.2019.
- [36] <http://www.acuitylaser.com/support/measurement-principles/> , приступљено:
22.06.2019.
- [37] https://www.researchgate.net/figure/Active-stereo-example-of-a-time-of-flight-system-A-point-laser-emits-a-pulse-that-is_fig5_226177485 ,
приступљено: 22.06.2019.
- [38] <https://www.laserdesign.com/what-is-3d-scanning> , приступљено: 23.06.2019.
- [39] <https://www.truepointscanning.com/what-is-3d-laser-scanning> , приступљено:
23.06.2019.

[40] <https://www.hexagonmi.com/products/software/pc-dmis/pc-dmis-2018-r2>,
приступљено: 09.10.2019.