FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2002. március 22-23.

ROBOTIZÁLT GYÁRTÁS MÉRÉSTECHNIKAI FELADATAI

Dr. Alpek Ferenc

Summary: Applying intelligent robots in the industry is one of the possible ways to increase the flexibility, the reliability of production, to improve the quality of workpieces, products and to reduce the costs. During automation of production and assembly using robots the human inspection has to be replaced by applying sensors. In this paper the author gives an overview about his experiments in the field of monitoring of robotized assembly focused on development, testing and application of force/torque sensors. Monitoring helps to eliminate the disturbances during automation of production using robots. Various force/torque sensors based on strain gauge technique were developed, tested and applied by the author.

The measuring test of industrial robots and mechanical robot peripheries (end-effectors, end-effector changers, fixtures, tools, etc.) gives the most important technical data such as position accuracy, static and dynamic stiffness, load capacity, etc, which show if they are able to realise the given tasks, operations or not. The results of the measuring test of an end-effector changer will be presented.

The possibilities and limits of robot aided dimensional measurement of work pieces and two applications will be presented, too.

Keywords: robotized production, monitoring, measuring test, mechanical robot peripheries, sensors

1 BEVEZETÉS

Napjainkban az automatizálás egyre inkább tért hódít. Az ipari folyamatok zöme részben vagy teljesen automatizált. A folyamat, a gyártás felügyelet-szegény vagy emberi felügyelet nélküli, azaz a kezelőszemélyzet csak korlátozott mértékben vagy egyáltalán nincs jelen a közvetlen folyamatban. Ipari folyamatok, azonbelül a gyártási folyamatok zavartalan menete a végtermék szempontjából rendkívül fontos. A folyamatok megbízhatósága, a termék minősége a különböző fizikai folyamatjellemzők mérése és felügyelete (monitoring) nélkül nem garantálható. A folyamat automatizáltsági szintjétől, a folyamat specifikus jellemzőitől, az esetleges rendellenességek által okozott zavaroktól függően változik a mért, a felügyelt jellemzők száma, gyakorisága. Manuálisan végzett műveleteknél esetleg csak a tápenergia jellemzőit (feszültség, áramerősség, teljesítmény, tápnyomás stb.) méri, míg automatizált folyamatokban, ahol az ember felügyeleti funkcióit is automatizálni kell, ott az embert, mint megfigyelőt, beavatkozó személyt szenzorok (érzékelők) alkalmazásával kell helyettesíteni. A szenzorok információt gyűjtenek a folyamatról, a műveletekről, a gyártóeszközök és a munkadarab állapotáról, továbbá a környezetről [5; 19]

Gyártásautomatizálás egyik fontos területe az ipari robotok alkalmazása. Robotizált folyamatokban és rendszerekben az ésszerűség határain belül szinte minden automatizált. Bizonyos területeken az automatizáltsági szint eléri a 100%-ot (egészségre ártalmatlan környezet, monoton munkafolyamatok, igen nehéz fizikai munka, stb.). A megbízható működés, a minőség szinten tartása, a kis ciklusidők, stb. csak úgy garantálhatók, ha a robot állandóan és gyorsan képes reagálni a környezetében

bekövetkező változásokra. Ez részben az un. rugalmasság és adaptivitás követelményének a figyelembe vételét és teljesítését jelenti. Az alkalmazkodó képesség és az intelligenciaszint szoros kapcsolatban vannak egymással. Az alkalmazkodó képesség a környezeti változások érzékelését és a rájuk adott válasz (ellenlépés), az irányítási mód bizonyos összhangját és egységét tételezi fel.

A következő fejezetekben röviden bemutatjuk a robottechnikában alkalmazott főbb szenzortípusokat, majd a fontosabb erő- és nyomatékmérési feladatok taglalása kapcsán Tanszékünk Méréstechnika csoportja által fejlesztett és alkalmazott szenzorokat ismertetjük [4; 5; 13; 15; 16; 19].

A cikk második részében a mechanikus robotperifériák mérés technikai vizsgálatáról, adunk áttekintést és a robottal segített munkadarabmérésről is írunk [1; 3; 4; 9; 10; 11; 18; 21]

2 A ROBOTTECHNIKÁBAN ALKALMAZOTT FONTOSABB SENZOROK

A szenzorokat a robotalkalmazásokban az általuk szolgáltatott jel információ tartalma szerint célszerű osztályozni. Megkülönböztetünk

- egyszerű (bináris jelet adó) és
- intelligens (folytonos jelet adó)

szenzorokat.

2.1 Egyszerű, bináris jelet adó szenzorok

Jóllehet a bináris jelek kevés információt adnak, mégis széles körben alkalmazzák az egyszerű szenzorokat. Vannak olyan eszközök, műveletek, melyek állapota, helyzete két jelszinttel (alacsony szint - magas szint) egyértelműen jellemezhető. Egy robotmegfogó többek között akkor használható, ha az adagolási művelet előtt nyitva van (külső felületen való megfogásnál) vagy zárva van (ha belső felületen fogjuk meg a darabot). Ezt a megfogási műveletek előtt detektálni kell. Az egyszerű szenzor akár egy-két nagyságrenddel olcsóbb, mint az intelligens szenzor. A szenzor kiválasztásánál a műszaki adatok mellett a költségáfordítás is fontos szempont.

Az egyszerű szenzorokat a gyakorlatban proximity szenzornak, jelenlét vagy közelítésérzékelőnek nevezik. A megnevezés hűen tükrözi funkciójukat: ott van vagy nincs ott. Tehát a kívánt esemény bekövetkezett-e vagy sem. Ezek a szenzorok a kereskedelembe igen széles kínálatból szerezhetők be. A hatáselv szerint léteznek:

- elektromechanikus érzékelők (mikrokapcsolók),
- induktív jelenlétérzékelők,
- kapacitív jelenlétérzékelők,
- optoelektronikus jelenlétérzékelők.

A **mikrokapcsolók** két állapotú (három érintkezős) taktilis (érintkezéssel működő) érzékelők, melyek működtető elemükre (nyomógomb) ható jelre két érintkezőt szétkapcsolnak és az egyiket közülük egy harmadikkal összekapcsolják (Morse érintkezők). Széles körben használják őket közvetlenül vagy más érzékelőbe építve (termokapcsoló, nyomáskapcsoló). A nyomáskapcsoló egy, rugóval előfeszíthető membrán, melynek helyzetét a beépített mikrokapcsoló érzékeli.

Induktív jelenlét érzékelők csak ferromágneses anyagból készült elemeket képesek érzékelni. Az un. záró lemezt az alkalmazásokban az érzékelendő tárgy, a szerszám vagy a készülék valamelyik ferromágneses eleme testesíti meg. Hatótávolságuk igen kicsiny, 1-5 mm között van.

Kapacitív jelenlét érzékelőkről hasonló mondható el, ami a működést, a villamos megtáplálást és a geometriai kialakítást illeti. Fontos különbség az, hogy nemcsak ferromágneses anyagokat, hanem az összes fémre képes érzékelni. Átmérő mérete nagyobb: minimális átmérőjük $\varnothing 12$ mm lehet. Villamos terekre, zavarokra érzékenyek. Detektálási távolsága néhány mm maximum.

Optoelektronikus érzékelők hatótávolsága sokkal nagyobb. Két fő részből állnak:

- fényforrásból (jeladó) és
- fényre érzékeny elemből (vevő).

Ha külön egységbe vannak beépítve, akkor un. áteső fényes szenzorról beszélünk, ahol működés közben a detektálandó tárgy, elem vagy megszakítja a fény sugarat vagy kilép a sugárnyalábból. Az un. reflexiós (fényvisszaverődéssel működő) szenzor magába foglalja az adót és a vevőt.

Az áteső fényes szenzor hatótávolsága akár 1000 mm is lehet, míg reflexiós szenzornál ez az érték 200-500 mm között van általában. Az utóbbi érték a fényvisszaverő felület érdességétől és színétől is

függ. A gyakorlat azt mutatja, hogy a fekete felületek is jól detektálhatók. Az áteső fényes szenzorok is használhatók reflexiós üzemmódban, amikor is egy felületre a szög alatt beeső fény a szög alatt verődik vissza, és ezt érzékeli a vevő szenzor. Az áteső fénnel dolgozó szenzorok alkalmazásánál a fénynyaláb szóródása miatt a vevő pozíciója a sugárnyaláb szimmetria tengelyére merőlegesen kismértékben szórhat (5-10 mm / 1000 mm a tapasztalatok szerint). Ez azt jelenti, hogy a beállítás kis idő- és költségráfordítással oldható meg.

Az egy elembe épített szenzor minimális mérete: $\varnothing$ 12-0 16 mm x 40-80 mm. A külön adóból és vevőből álló szenzor mérete $\varnothing$ 6 - $\varnothing$ 8mm-nél kezdődik, hosszúsága hasonló. Becsavarható kivitelben készülnek. Villamos megtáplálásuk, optikai (LED) visszajelzőjük, beépítési módjuk ugyanolyan, mint a kapacitív és induktív jelenlétérzékelőké. Általában infravörös tartományban dolgoznak, zavarérzékenyséjük kicsi.

Az egyszerű szenzorok a robotvezérlő Input csatornáján keresztül kommunikálnak a vezérlővel, 0 V/DC vagy 12-24 V/DC jelet adva a vezérlőre, jelezve, hogy a felügyelt elem, tárgy jelen van-e, nyitva van-e a készülék, stb.

Ezek szenzorok (akár kettőnél több is) adott feladat esetén "ÉS" továbbá "VAGY" logikai feladat megvalósítására is felhasználhatók soros vagy párhuzamos kapcsolásban. Természetesen "negáltjuk" jelzésére is alkalmasak. Vannak alaphelyzetben nyitott, illetve zárt típusú érzékelők is.

A mikrokapcsolók taktilis érzékelők (érintkezéssel működnek), míg a többi egyszerű szenzor érintés nélkül dolgozik, így nem vonnak el energiát a vizsgált folyamatból, nem hatnak vissza a folyamatra.

Robotizált gyártó vagy főleg szerelő cellában számtalan, egyszerű felügyeleti feladatra igen sok proximity szenzort alkalmaznak egymás mellett. Sokszor a robotvezérlő Input csatornáinak számát (16-32) növelni kell, mert nem képesek fogadni az adott feladathoz szükséges számú, ilyen típusú szenzorok jeleit. A Tanszékünkön épített gömbcsapok robotizált szerelésére alkalmas cellában 18 különböző proximity szenzort használtunk.

2.2 Intelligens szenzorok

Ipari robotok alkalmazása során, robotizált gyártási és szerelési folyamatokban általában a következő fizikai mennyiségek, mint meghatározó, következő mennyiségek érzékelése a feladat:

- erő és nyomaték,
- nyomás,
- vizuális információk.

Az ipari robotokkal végezhető szinte összes művelet során az egyik legjellemzőbb mennyiség a működés, a művelet végrehajtása során **fellépő erő** (gépkiszolgálás, ponthegeztés, beültetés, sajtolás, szegecseles, robotos forgácsolás: fúrás, marás, sorjázás, polírozás, stb.) illetve **nyomaték** (fúrás, csavarozás). Léteznek esetek, ahol az erőt, a működtető nyomatékot szabályozni kell annak érdekében, hogy a munkadarab, amelyen a műveletet végezzük, ne károsodjék, ne deformálódjék (szorítóerő szabályozás). A nagyon gyakori pneumatikus rendszerekben a szorítóerőt, de esetlegesen a forgató nyomatékot is a pneumatikus tápnyomás változtatásával szabályozhatjuk. A szabályozás alkalmával a **nyomás** automatikus ellenőrzése, mérése szükséges. Erre a célra nyomásszenzort kell használni.

A **vizuális információk** sokasága tájékoztat bennünket arról, hogy robotos műveletek során van-e valami rendellenesség, sérült-e a darab, milyen a robot munkaterébe érkező darabok helyzete, orientációja, melyik fajta alkatrész érkezett be, stb.

A látás, a vizuális információszerzés automatizálása, a gépi látás, az alak- és mintázat felismerés "gépesítése " a robottechnikában igen fontos feladat.

A felsoroltakon kívül az alkalmazott robottechnikában (a robotvizsgálatok kivételével) más egyéb szenzort nem, vagy csak igen különleges feladatok esetén használnak.

A következő fejezetekben a robotizált műveletek erő-, nyomaték- és nyomásmérésével, valamint felügyeletével foglalkozunk. Bemutatunk röviden több, főleg szerelő cellában alkalmazott erő- és nyomaték szenzort, melyeket részben Tanszékünk fejlesztett, tesztelt és celláiban alkalmazott. Az azonos időben, párhuzamosan alkalmazott többféle szenzor az ún. **multi-szenzor technika** része, mely egyszerre sok-sok információt gyűjt be a folyamatokról, dönt és beavatkozik annak érdekében, hogy a folyamatok, műveletek lefolyása zavartalan legyen. A **felügyelet, a Monitoring** célja a folyamat megbízhatóságának és a gyártmány minőségének növelése [2; 6;].

3 ROBOTOS RENDSZEREKBEN HASZNÁLT ERŐ- ÉS NYOMATÉKÉRZÉKELEK

Robotizált rendszerekben a legjellemzőbb és legfontosabb erő-, nyomaték- és nyomásmérési feladatok az alábbiak [5;6; 7; 13; 15; 16; 18; 20]:

- megfogó szerkezetek és munkadarab befogó készülékek szorítóerő felügyelete és szorítóerő szabályozása,
- műveletek közben fellépő erők és nyomatékok mérése, felügyelete és esetleges szabályozása (nyomásszabályozással).

Az *első feladatnál* a cél az, hogy az end-effektorral megfogott illetve a készülékbe fogott munkadarabra a manipulálás illetve a rögzítés során ható erők ne okozzanak maradó deformációt, ugyanakkor a műveleti erők nem mozdíthatják ki a darabot pozíciójukból. Számítható általában a szükséges szorítóerő. Ezt kell kifejtetni és ellenőrizni szorítás közben.

A szenzort a megfogó szerkezetbe illetve a munkadarab befogó készülékbe kell építeni. Számítható az erő és a nyomaték közvetve a szorítást végző közeg tápnyomásának mérésével. Itt gondot jelenthet az, hogy a megfogó szerkezetek szorítóerő-szorító út függvénye nem állandó, nem lineáris. Így mérni kell a szorító utat is és ezt is figyelembe kell venni a számításnál.

A *második feladat* sokrétűbb és bonyolultabb, mivel igen sokféle lehet a művelet és akár egyszerre több erőösszetevőt is kell mérni.

Az erő és a nyomaték az utolsó robotcsuklóra, az end-effektor mögé illetve a munkadarab befogó készülékbe vagy a készülék alá épített szenzorral mérhető közvetlenül.

3.1 Robotmegfogó szerkezetek erőfelügyelete

A robotmegfogó szerkezetnek, legyen azok a kereskedelemben beszerezhetőek vagy adott feladatra tervezettek, a manipulálandó darabot olyan erővel kell megfogniuk, hogy

- a munkadarab maradó deformációt ne szenvedjen, felülete ne sérüljön meg,
- a művelet során ne essen ki, ne mozduljon ki, ne forduljon ki a megfogóból.

A szükséges és elégséges szorítóerő bizonyos adatok ismeretében (önsúly, gyorsulások, súrlódási viszonyok, a megfogó kialakítása, stb.) megközelítőleg kiszámítható. A művelet biztonságos végrehajtása érdekében ezt az erőt a művelet végrehajtása előtt, esetleg közben is ellenőrizni kell.

Az erő szenzort általában a megfogó szerkezet ujjaira vagy a mozgást átvivő mechanizmus valamelyik tagjára lehet szerelni. Ez a közvetlen, de költségesebb módszer.

Megoldásként kínálkozik az a módszer, ahol a robotmegfogó időnként egy külső erőszenzornak erre a célra kialakított speciális elemét megfogja (megszorítja), mialatt az ellenőrzi a szorító erőt.

A BME Gépgyártástechnológia Tanszéken mindkét megoldással foglalkoztak már [5,16].

A megfogó szerkezet ujjaira épített nyúlásmérő bélyeges erőmérő szenzor "mérőujj" a Kaliber Kft, Budapest közreműködésével lett kialakítva. A feladat olyan megfogó szerkezetbe épített erőmérő kialakítása volt, mely 20-70 N közötti szorító erők mérésére alkalmas.

Az un. mérő ujj kialakítása előtt 4:1 arányú feszültség optikai modellen mérésekkel meghatározták a főfeszültségek irányát (1.ábra. bal oldal). Ezzel a nyúlásmérő bélyeg felragasztásának irányát állapították meg. A kellő deformáció eléréséhez az ujjat el kellett vékonyítani, különben az erők (20-70 N) igen kis nyúlást eredményeztek volna, nagyon kis villamos jelet fejtettek volna ki. A miniatűr nyúlásmérő bélyeget (VISHAY MA-06-062 TV-350 típusú, 2x3 mm méretű) és környezetét felragasztás után műgyantával öntötték ki [16].

A felhasználás során figyelembe kellett venni azt is, hogy a megfogó szerkezet szorító erő-szorítási út függvénye nem állandó és nem lineáris. Ez azt jelenti például, hogy ha Ø60 mm-re kinyílván a megfogó éppen 50 N erővel szorít, akkor változatlan tápnyomás esetén ez az erő Ø35 mm-es darab szorításánál nem 50 N lesz. A szorító erő-szorítási út függvényt kalibrálással (kalibráló erőmérő cella alkalmazásával) lehet meghatározni. A kialakított mérőujjas robotmegfogó szerkezet az 1. ábrán látható.

A mérőujj kalibrálását elvégezve megállapítottuk, hogy a szenzor linearitási hibája 1,5-2 %, míg histerézise 4-5 % között van.

1.ábra. A mérőujj és feszültség optikai modellje, robotmegfogó szerkezet mérőujjal

A szorító erőt nem elegendő csak mérni és felügyelni, hanem szabályozni is tudni kell. Pneumatikus megfogóknál a szorító erő szabályozásának egyetlen módja van: szabályozni és mérni kell a táplevegő nyomását. Erre két módszer létezik:

- folyamatos nyomásszabályozás,
- nem folyamatos szabályozás, diszkrét(lépcsőzetes) nyomásszabályozás.

A szorítóerő folyamatos szabályozása nem szükséges minden esetben. A tömeget, a gyorsulásokat és a szorító pófák, valamint a munkadarab között fellépő csúszósurlódást minimális értékűnek feltételezve, a minimális szorító erő számítható. Ez általában jóval kisebb, mint a maradó deformációt kiváltó szorító erő. Itt 1,5-2 nagyságú biztonságtényezőt kell figyelembe venni.

A lépcsőzetes szabályozáshoz 0,5 bar értékű nyomáskülönbségekre beállított, speciális pneumatikus blokkokat használtunk, melyek nyomásszabályozóból, 24 V DC mágneses útszelepből, visszacsapó szelepből és nyomáskapcsolóból állnak. A blokkokat a robotprogram a vezérlő Output csatornáin keresztül kapcsolja be, aktiválja. Egy időben természetesen csak egy blokk működhet. Az aktuális nyomásértékeket nyúlásmérő bélyeges nyomásszenzor felügyeli.

A szorító erő illetve a nyomás folyamatos szabályozása léptető motoros adaptív szabályozással lehetséges. Ennek megvalósítását a Maribori Egyetem Robottechnikai Intézetével folytatott együttműködés keretében megkezdjük.

3.2 Az end-effektor (robotmegfogó) mögé épített többkomponenses erő- és nyomatékszenzor és alkalmazása

Az érzékelőt leggyakrabban a robot utolsó csuklójára (az end-effektorhoz), azaz a szerszám vagy a megfogó elé szokás felszerelni. Ha azonban a robot rendelkezik szerszámcsereelővel is, akkor azt a robotra szerelt érzékelőre célszerű rögzíteni, és ekkor a többi elemet a szerszámcsereelővel lehet felvenni és lerakni.

Ez az elrendezés azonban célszerűen módosulhat, például, ha az érzékelőt, mint külön eszközt lehet csak használni: ekkor a robot az érzékelőt a szerszámcsereelő segítségével felveszi a méréshez, majd a mérés végeztével lerakja.

Az IKARUSZ autóbusz hátsólámpa szerelésénél volt ilyen alkalmazás. A munkahelyre "bevonszolt" autóbusztest szerelési pozícióját nagy pozicionálási hibával veszi fel. A hiba 100 mm-es nagyságrendű lehet. A robotvezérlés minden egyes beérkezett busz pozícióját megállapítja a célszerűen letapintott felületek alapján. Erre a célra 6 komponenses erő/nyomatékmérő cellát használtunk. A tapintási erő alsó határértékére 10 N volt programozva. Ha a tapintáskor az erő elérte a 10 N értéket a robotvezérlő kiolvasta a letapintott pont aktuális x;y és z koordinátáit. 3-4 pont koordinátájából meghatározták egy lámpaüreg helyzetét vagy a hátfalsík normál vektorát, stb. Használat után a robot letette a mérés helyének közelébe a szenzort. A 2. ábrán ez az alkalmazás látható.

Az alkalmazott érzékelők leggyakrabban hatkomponensesek, de adott esetben ennél kevesebb komponens mérése is elegendő lehet.

2. ábra. A robot az erőmérő szenzor segítségével helyzetmeghatározás céljából letapintja a busz hátfalat

A kereskedelemben kaphatók 6 komponenses érzékelők, rendszerint cél hardware-rek. Hazánkban korábban a Kaliber Kft, majd a TARA Kft gyártott ilyen érzékelőket. A mérőelektronikát az MTA SZTAKI gyártotta (R-Force, MiniForce néven). A szenzor nyúlásmérő bélyeges kialakítású.

GmbH kínál 6 komponenses nyúlásmérő bélyeges erő- ill. nyomaték-mérő cellát, saját mérőelektronikával. A mérési eredmények kiértékelése általában automatikus. Az eredmények alapján a robot mozgáspályája elvileg igen könnyen módosítható lenne, azonban a gyakorlati megvalósítás során igen komoly technikai problémák lépnek fel. Ennek az oka az, hogy a robotgyártók - legalábbis napjainkig - zömmel zárt rendszerű robotérzékelőket gyártanak, amelyhez érzékelők illesztése (leszámítva a robotvezérlőt gyártó cég által kifejlesztett érzékelőket) igen nehézkes.

Az utóbbi időben azonban az iparban is egyre növekszik az igény a nyitott rendszerű robotvezérlők iránt, melyek képesek a különböző típusú érzékelők jeleinek fogadására és feldolgozására a robotvezérlő magas szintű nyelvén. Ezek a robotvezérlők már valóban hatásosan működő, könnyen kezelhető és könnyen átlátható cellavezérlések kifejlesztését teszik lehetővé.

A mérőrendszerek egyik legérzékenyebb eleme a szenzor. Ma már szinte minden modell fel van szerelve statikus túlterhelés elleni védelemmel. Ez a robotok esetében akár 600%-os is lehet, mely valamelyest a dinamikai túlterhelés ellen is véd.

Tanszékünk a gyártó megbízásából részt vett a bemutatott szenzor tesztelésében és alkalmazástechnikai vizsgálatában. Észrevételeink alapján a szenzort és a mérőelektronikát kis mértékben módosították. Tanszékünk a következő szenzort tesztelte és használta több szerelő cellájában:

A hazai gyártású szenzor és mérőelektronika főbb jellemzői:

TARA SCT-02 típusú érzékelő műszaki jellemzői

Fx	50 N;	Fy, Fz	100 N
Mx	2 Nm;	My, Mz	5 Nm
Linearitási hiba	0.1%;	Ismétlési pontosság	0.1%
Megengedett túlterhelés	500%		
Áthallás		maximum	5%
Méret		Ø	80x30 mm
Tömeg			0.4 kg.

Tanszékünk a 3. ábrán látható robotos szerelő cellában gömbcsap szerelésnél használta a fenti szenzort. Cél a műveletek során fellépő erők és nyomatok mérése és felügyelete volt.

3.3 Robotos, erővezérelt pályakövetés

A kontúrkövetés során ismert vagy ismeretlen kontúrt kell megmunkálnunk vagy az ismeretlen helyzetű és nagyságú akadály kikerülését kell megoldanunk. Ezekben az esetben a robot megfogója, illetve a megfogó helyén lévő szerszám és az akadály vagy a munkadarab közötti érintkezési erő közel állandó értéken (vagy legalábbis egy igen szűk intervallumon belül) kell tartani.

3. ábra. Robotizált szerelő cella

4. Ábra. Nyomatékmérésre épülő működési teszt

A kontúrkövetés olyan technológiai műveleteknek szolgál alapul, mint pl.

- sorjázás,
- ragasztóanyag terítése,
- ívhegesztés vagy fogyóelektródás hegesztés,
- vízsugaras (vagy lézeres) kivágás, stb.

A kontúrkövetés során mérni és szabályozni kell az érintkezési erőt. Az erőszensor elhelyezhető a robot csuklójában illetve a munkadarabot tartó készülékben. Mindkettőre mutatunk példát.

Az előző fejezetben bemutatott 6 komponenses erő- és nyomatékmérő szenzor használható a pályakövetés erőfelügyeletére. Az érintkezési erő maximális értékét olyan értékűre kell választani, melynél még a robotvezérlő nem kapcsol le. Ez az értéket a munkapontban mérhető lekapcsolási erőérték 70-75 %-ára célszerű választani. Saját tapasztalataink ezt mutatják. A lekapcsolási erőérték nem egyenlő a munkatér minden pontjában a robot terhelhetőségével. Vannak olyan pontok a munkatérben, ahol az átlagos terhelhetőségnél akár 50-80 %-kal nagyobb a lekapcsolási erő értéke.

Ezek megállapítására statikus merevségi méréseket kell végezni a munkatartomány több pontján. Ennek során a lekapcsolási erő mellett az ennél kisebb, megengedhető érintkezési erőhöz tartozó tapintó deformáció is megállapítható. Ez a deformáció befolyásolhatja a pályakövetés pontosságát.

3.3.1 Pályakövetés 6 komponenses, robotcsuklóba épített erőmérő használatával

Tanszékünkön az előző fejezetben bemutatott 6 komponenses erőmérő használatával kétdimenziós pályakövetést valósítottunk meg. Cél egy pályakövetési stratégia kidolgozása és tesztelése volt. A tesztelés során a NOKIA Puma 760 típusú szerelő robot a megfogó helyére, a szenzorra szerelt tapintó rúddal letapintva körbejárta a futballpálya alakú próbadarabot. A tapintó állandó jelleggel érintkezésben volt a pályát hordozó munkadarabbal. A felületre merőleges érintkezési erő megengedhető maximális értékét statikus merevségi méréssel állapítottuk meg (5. ábra). Statikus merevség mérés során a robot megfogójának helyére etalon darabot szereltünk fel. Erőmérő cellán keresztül változó erővel terheltük a darabot egyenként X és Y és Z irányban. A terheléssel szemkötti oldalon, az erő hatásvonalában mértük a deformációt μm -ben. Méréseinknél 100 N méréshatárú, nyúlásmérő bélyeges erőmérőt és lineáris inkrementális hosszmérő elemet használtunk. A 6. Ábrán látható pályakövetés során 840 mm hosszú pályát kellett letapintani, ez 192 sec ideig tartott. A pálya és a tapintó végződés közötti csúszó súrlódás csökkentése érdekében egy golyócsapágyat építettünk a tapintó végére.

A feladat megoldása után az eredményeket elemezve megállapítható, hogy a pályakövetés túl lassú és az alkalmazott szenzorrendszer túl drága a kétdimenziós pályakövetés megoldásához.

A robot megfogók szorítóerejének felügyeletére alkalmas mérőujjnal említett linearitási és hiszterézis hibák és a pályakövetés kapcsán említett hátrányok, hibák kiküszöbölésére megkezdtük egy új, end-effektorba építhető erő- és nyomatékmérő szenzor fejlesztését.

5. ábra. PUMA robot statikus merevségének mérése

6. ábra. Robotos pályakövetés erő felügyelettel

4 END-EFFEKTORBA ÉPÍTHETŐ KOMPLEX ERŐ- ÉS NYOMATÉKMÉRŐ SZENZOR FEJLESZTÉSE

A cél egy olyan komplex szenzorrendszer építése, mely az alábbiak mérésére alkalmas:

- Robotmegfogó szorító ereje,
- Az F_x F_y és F_z erők nagyságának mérése. Ebből az F erő nagysága, iránya és hatásvonala meghatározható.
- M_z forgató nyomaték mérése,
- Nyomásmérés a szorítást adó légnyomás ellenőrzésére.

A légnyomás ellenőrzése a nyomásszabályozás esetén is elengedhetetlen.

7. ábra. Az új end-effektor kinematikai modellje

8. ábra. Erőmérő testek (távtartó rudak)

9. ábra. Nyúlásmérő bélyeges erőmérő lap kompenzáló elemmel

A szenzorizált end-effektor kinematikai modellje (7. ábra.) azt mutatja, hogy a rendszer alapvetően két részből áll. Az „A” rész egy pneumatikus, olló típusú két újas megfogó. A szögemelőként működő ujjak „hajlatában” 1-1 csavarásra igénybe vett nyúlásmérő bélyeges erőmérő lap (9. ábra) helyezkedik el. Feladatuk a szorítóerő mérése.

A „B” rész 3 tárcsaszerű elemből áll. A középső tárcsát a 3-3 speciális, előfeszített távtartó rúd köti össze. A távtartó rudak speciális egykomponenses erőmérők (8. ábra).

A 9. ábrán látható erőmérő lapok elkészültek, kalibrálásuk folyamatban van. Az első mérések az mutatják, hogy a linearitási hiba kisebb 1 %-nál és a hiszterézis sem éri el a 3 %-ot. A szenzorrendszer „B” részének tervezése folyamatban van.

3 MECHANIKUS ROBOTPERIFÉRIÁK MÉRÉSTECHNIKAI TESZTELÉSE, BEMÉRÉSE

A robotizált gyártás mechanikus robotperifériák (megfogók, szerszámok, készülékek, mérőeszközök) használata nélkül elképzelhetetlen. Ezek az eszközök a műveletek végrehajtásához szükségesek. Legtöbbjük feladatorientált. Az alkalmazás biztonsága megkívánja ezen eszközök tesztelését, bemérését. A méréstechnikai teszt során a legfontosabb műszaki jellemzőket kell mérni.

- Pozicionálási, ismétlési és orientációs hibát,
- Statikus és dinamikus merevséget,
- Teherbíró képességet.

A méréstechnikai teszt alapján el lehet dönteni, hogy a vizsgált periféria az adott műveletek elvégzésére alkalmas-e vagy sem? Alapvetően kétféle módon vizsgálhatók ezek az eszközök:

- Ipari robotra szerelve (mérés során a robot hibái is bekerülnek az eredménybe),
- Speciális tesztpadon, mérőállomáson (csak a mechanikus periféria adatait mérjük).

A következő fejezetben bemutatjuk a tanszékünk által a Kolozsvári Műszaki Egyetem közreműködésével fejlesztett robot megfogó- és szerszámcsereelőt.

5.1 End-effektor cserélő méréstechnikai tesztelése

Szerelő robotoknál számtalan end-effektort használunk, melyeket a műveletek után automatikusan cserélni kell. Elvégeztük az általunk fejlesztett és alkalmazott cserélő méréstechnikai vizsgálatát a második módszer alkalmazásával [8; 11; 12; 17; 19; 21].

A következő vizsgálatokat és eredményeit mutatjuk be:

- Pozicionálási és ismétlési hiba,
- Statikus merevség és dinamikus merevség.

10. ábra. End-effektor cserélő (bal oldal) és a cserélőre szerelt mérő újjas megfogó szerkezet

A méréstechnikai tesztelés során három különböző mérési összeállítást használtunk. A 11. Ábrán látható a pozicionálási és ismétlési pontosság mérésére alkalmas mérő-vizsgáló rendszer.

11. ábra. Mérőállomás cserélő pozicionálási és ismétlési hibáinak mérésére

A mérőállomás egy, a cserélési műveletet automatikusan lebonyolító készülékből áll. A rendszerhez tartozó két Mitutoyo Digimatic típusú lineáris inkrementális mérőelem méri a cserélés után kiinduló pozícióba érő mérőhenger aktuális helyzetét X és Y irányban. Az első cserélési

művelet előtt a mérőrendszert nulláztuk és később ettől a nulla pozíciótól mérjük az adott cserélés után az aktuális és kiinduló pozíció eltérését μm -ben. A mérést 50-szer ismételtük meg. A mérési eredményeket feldolgoztuk és az 1. táblázatban adjuk meg.

12. ábra. Mérőállomás end-effector cserélő statikus merevségének mérése

Statikus merevség mérés alapjait már korábban taglaltuk. A 12. ábrán látható mérőállomás egy nyúlásmérő bélyeges erőmérőből, két lineáris inkrementális mérőelemből áll. A készülék közepén emelkedő állványra van szerelve a vizsgálandó cserélő: A cserélőre van szerelve egy mérőtűske. A mérőtűskét terheljük a 100 N-os erőmérőre szerelt csavar elforgatásával, míg az inkrementális elemek

mérik egy időben a cserélő és az azt tartó állvány elmozdulását (rugalmas deformációját). A méréseket X majd Y irányú terhelés esetén is elvégeztük. A mérési eredmények az 1. táblázatban láthatók.

13. ábra. Dinamikus jellemzők meghatározására alkalmas mérőállomás

Dinamikus jellemzők közül a saját frekvenciák mérését végeztük el. A 12. ábrán látható mérőállomás alacsony frekvenciás generátorból (0,1-1100 Hz), teljesítményerősítőből, elektrodinamikus rezgetőből és 2 piezoelektromos rezgésmérő szenzorból, valamint a hozzá tartozó töltés és integráló erősítőből áll.

A vizsgálat során a szinuszos feszültségjelet adó generátor frekvenciáját növelve elérünk egy saját frekvencia közelébe, ahol a rendszer gyakorlatilag csillapítás nélkül (elvileg végtelen) gyakorlatilag helyileg maximális amplitudójú rezgőmozgást végez. A maximumhoz tartozó pontos frekvencia értéket a rendszerhez csatolt digitális frekvenciamérővel lehet mérni. A felharmonikusok is ily módon mérhetők. A mérési eredményeket az 1. Táblázat mutatja.

1. Táblázat. End-effector cserélő mérés technikai tesztjének eredményei

Mérési irány	Pozicionálási és ismétlési hiba (μm)	Statikus merevség (N/mm)	Saját frekvencia f1 (Hz)	Saját frekvencia f2 (Hz)	Saját frekvencia f3 (Hz)
X	$<\pm 13$	3221	189	725	1043
Y	$<\pm 15$	451	131	242	908

6 ROBOTTAL SEGÍTETT MUNKADARABMÉRÉS

Mérőrobotok feladata általában a munkadarabok mérése. Nagyon kevés mérőrobot dolgozik az iparban. A WORLD ROBOTICS 2001 -Statistics, Market Analysis, Forecast szerint az ipari robotoknak csak 1-2%-át használják mérési célokra. A mérőrobotok általában precíziós hossz- és szögmérő rendszerrel (felbontó képességük: 1-5 μm) ellátott koordináta robotok, (többkoordinátás mérőgépeknek is tekinthetők), melyek a munkadarabokat 3 dimenziós kapcsoló típusú tapintóval letapintva dolgoznak. Letapintáskor a tapintó kapcsoló impulzusa kiolvasatja a mérőrendszerből a letapintott pont X-Y-Z koordinátáit. A pontthalmaz koordinátáiból a csatolt számítógép meghatározza a szükséges mérési adatokat (hosszméretek, átmérők, tengelytávolságok, alakhibák, stb.). Ez ugyanúgy történik, mint a többkoordinátás mérőgépeknél. A mérőrobotok igen költséges berendezések.

Az ipari robotok is használhatók munkadarabmérésre. Problémaként jelentkezik:

- A mérőrendszerük „durvább” felbontóképessége (1-100 μm) és
- A jelentősebb pozicionálási és ismétlési hibáik.

A fentiek ellenére részben idő- és részben költségmegtakarítás miatt kisebb pontossági igényű mérésekre használnak ipari (anyagmozgató és szerelő) robotot.

Az indoklás a következő lehet. Gyártó cellákban az anyagmozgató robotok a hosszú gyártási idők miatt sokat állnak. így mód van arra, hogy az állás idő alatti egyéb műveleteket, többek között mérési segédműveleteket robotokkal végeztessünk el.

Két módszer használható:

- Az anyagmozgató robot egy speciális mérőkészülék, mérőállomás anyagellátása mellett a mérőszánokat vezetékek mentén mozgatja. A közvetlen mérést a mérőkészülékbe épített mérőelemek végzik. Az ilyen mérőkészüléknek sem saját hajtása, sem saját vezérlése nincs. Hajtásról és vezérlésről a robot és vezérlője gondoskodik. Az ilyen készülék viszonylag olcsó és általában IT 8 jelű tűrések ellenőrzésére már képes [2; 10].
- A másik módszernél az ipari robot saját mérőrendszerét használja fel a mérésre. Ekkor a mérőrobothoz hasonlóan 3 D-s tapintót vesz fel és letapintja a munkadarab megfelelő felületeit vagy a mérőtapintót a robot munkaterében elhelyezve (felfogva) a robot a munkadarabot viszi a mérőtapintóhoz, és a letapintás pillanatában a kapcsoló típusú tapintó kiolvastatja a robot mérőrendszeréből az adott pont X-Y-Z koordinátáit. A jelfeldolgozás az előző pontban említett módon zajlik [1;9]. Ez a módszer csak IT 9 vagy annál nagyobb tűrésű munkadarabok mérésére alkalmas.

Az első módszert eszterga cellában alkalmaztuk, ahol tárcsa jellegű darabok külső és belső átmérőinek mérésére építettünk egy mérőállomást. A mérőállomást Fanuc 3M típusú robot szolgálta ki. A mérési módszer kör-hárompont mérésen alapult. Mérőelemként 1 μm felbontóképességű Feinprüf 1500 IC típusú, lineáris inkrementális mérőelemet használtunk. A robot egy vízszintes és egy függőleges szán mozgását végezte. A robot vezérelte még a munkadarab befogó készülék zárását, és nyitását, a körasztal osztómozgásának lebonyolítását is [3].

A második módszert egy diplomaterv keretében próbáltuk ki [9]. Scara típusú robot a munkaterében elhelyezett 3D-es mérőelemhez vitte a munkadarabokat, melyek a tapintót többször érintették, kiolvastatták a vezérlő mérőrendszerének aktuális X-Y-Z koordinátát. Ezekből a csatolt számítógép meghatározta a legfontosabb méreteket. A módszerrel maximum csak IT 9-es tűrésű darabok mérhetők.

ÖSSZEFOGLALÁS

A robotizált gyártás területén számtalan mérés technikai feladat elvégzése szükséges.

Monitoring (felügyelet) során az automatizálásból kivont ember felügyeleti funkcióit szenzorokkal kell helyettesíteni.

Egyszerre több szenzort kell alkalmaznunk a megbízható felügyelethez. Az alkalmazott multi-szenzor technika lehetővé teszi a mérendő fontosabb jellemzők egyidejű (real time) mérését és ezzel a folyamat megbízhatóságának növelését.

Az ipari robotok és mechanikus robotperifériák **mérés technikai tesztelése** megadja a főbb műszaki jellemzőket. Ennek alapján eldönthető- mire alkalmas az adott eszköz.

A **robottal segített munkadarab mérés** egy új lehetőség a robotalkalmazások számának növelésére.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Farkas, J., Alpek, F.: Static and dynamic features of three-dimensional touch trigger probes. 9th IMEKO World Congress, Berlin (West), 1982. May, Vol.V/II.pp.89-101.
2. Lestelle, D.: Gripper with finger build-in force/torque sensors, in Proc. of the 5th Int. Conference on Robot Vision and Sensory Controls, 1985.p. 59-68, Amsterdam, North Holland (Elsevier Science Publishers BV).

3. Alpek, F.: Entwicklung und Testen einer externen Meßstation für automatische Messung kurzer rotationssymmetrischer Teile. Dissertation TU Dresden 1987.
4. Alpek, F., Jerzsabek, P., Nagy, S., Nagy, Z., Szalay, T., Szebeni, J., Szélig, K., Zsemler, F.: Entwicklung einer robotisierten Mep- und Richtzelle. e&i, 108. Jg. (1991), Heft 6. S. 238-241.
5. Alpek, F., Jerzsabek, P., Nagy, Z., Sallay, P., Szalay, T., Szélig, K.: Überwachungsaufgaben der Montagezelle im CAD/CAM-Pilotsystem der TU Budapest, e&i, 110. Jg. (1993), Heft 3. S. 127-134.
6. Alpek, F.; Nagy, Z.; Sallay, P.; Szalay, T.; Szélig, K.; Toth, K.: Multi-sensor Technique for Increasing Intelligence of Assembly Robots, in: P.Kopacek (Ed.), Proceedings of the 2nd RAA Workshop, (Krems, 13-15.June 1993), Krems 1993. Springer-Verlag Wien, New York. p. 138-142.
7. Alpek, F., Sallay, P., Szalay, T., Nagy, Z.: "Force and Torque Monitoring for Increasing the Flexibility and Reliability of Assembly Robots", 3rd International Workshop on Robotics in Alpe-Adria Region, Bled, July 1994, pp. 165-170.
8. Alpek, F.: Greifer - und Werkzeugwechselsysteme-Steigerung der Flexibilität von Montagerobotern - e & i, 111 Jahrgang 1994. H. 6. S. 305 - 309.
9. Wertán, Zs.: A robottal segített munkadarabmérés lehetőségei és korlátai 3 D-s kapcsoló típusú tapintó alkalmazásánál, Diplomaterv, 1996. Budapesti Műszaki Egyetem Gépábrázolástechnológia Tanszék. Konzulens: Dr. Alpek Ferenc.
10. Alpek, F.; Greguss, P.; Szalay, T.; Zatykó, E.: Possibilities and Solutions of robot-aided dimensional measurement. RAAD'96 Workshop Budapest, 1996. June, pp. 273-277.
11. Kovács, Zs.: A BME-n fejlesztett end-effektor cserélő mérés technikai tesztelése. Diplomaterv, 1997, Konzulens: Dr. Alpek Ferenc és Mihály István.
12. Alpek, F.; Szalay, T.; Mihály, I.; Krys, N.: Überwachung und Messtechnische Prüfung von Mechanischen Roboterperipherien. DAAAM-CEEPUS Workshop on Intelligent Machines and Technologies in the 21st Century/Miskolc/Hungary 1999. S. 37-43.
13. Alpek, F.; Krys, N.: Possibilities and Limits of Force/Torque Measurement and Monitoring in Applied Robotics, in: B.Katalinic (ed.), Proceedings of the 10th DAAAM Symposium, (Vienna, 21-23.October 1999), Vienna, 1999. p.009-010.
14. Szalay, T.; Alpek, F.: Realization of the Quality Assurance for Robotized Assembly Cell, Proceedings of IEEE Int.Symposium ISIE'99, Bled, Slovenia, 1999, Vol.2. pp.925-928.
15. Alpek, F., Krys, N.: Increasing the Reliability of Industrial Robots Using Force and Torque Sensors. Machining 2000, Budapest, Springer Hungary, Volume 2, pp.618-622
16. Alpek, F., Kovács, S., Krys, N.: Monitoring of Robot Grippers Using Force/Torque Sensors. Proceedings of the 9th Int. Workshop, RAAD, (Maribor 1-3 June 2000), p.209-214.
17. Alpek, F.; Szalay, T.; Krys, N.: Monitoring and Testing End-Effectors for Robots. XIV IMEKO World Congress IMEKO 2000 Vienna, Volume XI. pp. 3-8.
18. Alpek, F.; Kovács, S.; Krys, N.: Development and Testing Force/Torque Sensors for Robotized Production. XIV IMEKO World Congress IMEKO 2000. Vienna, Volume XI. pp. 77-82
19. Alpek, F.; Szalay, T.; Krys, N.: Monitoring and Measurement in Robotized Production. Research News, Special Issue 2000/4 (May 2001), Budapest University of Technology and Economics. pp. 92-101. (Ed.: Dr.Bojtár, I.)
20. Alpek, F.; Kovács, S.; Krys, N.: Advanced Methods in Force Monitoring the End-Effectors. Proceedings of 10th RAAD Workshop Vienna. May 2001, Vienna, p.32. (Ed.: Kópáček, P.)
21. Alpek, F.; Kovács, S.; Krys, N., Keresztesi, G.: Measurement and Monitoring of Robotized Production. Proceedings of 5th MTeM'2001 Conference, Cluj-Napoca/Romania, October 2001, pp. 1-4. (Ed.: Gyenge, Cs.), ISBN 973-85354-1-7

Szerző: Dr. Alpek Ferenc oki. gépész- és oki. villamos mérnök, PhD.; egyetemi docens, honorary professor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépábrázolástechnológia Tanszék
 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.; Tel: +36 1 463 2518; Fax: +36 1 463 3176;
 E-mail: alpek@manuf.bme.hu; Home page: www.manuf.bme.hu