

Navorsings- en oorsigartikels

Tegnologie vir ten volle geoutomatiseerde melking van koeie

J. Gouws

Departement Elektriese en Elektroniese Ingenieurswese, Randse Afrikaanse Universiteit, Posbus 524, Aucklandpark, 2006

Ontvang 16 Junie 1994; aanvaar 25 Augustus 1994

UITTREKSEL

Aangesien melkboerdery 'n arbeidsintensiewe, sewe-dae-per-week-aktiwiteit is, word daar wêreldwyd toenemend meer klem geplaas op die gebruik van gevorderde tegnologie in melkboerdery. Melkerymeganisasie is vir baie jare reeds goed gevestig, terwyl melkery-outomatisasie eers relatief onlangs begin momentum kry het. 'n Belangrike mylpaal was die bekendstelling van stelsels vir outomatiese identifikasie van beeste in die 1970's. Dit het die weg gebaan vir alle verdere melkery-outomatisasie-aktiwiteite. 'n Analise van die huidige status van ten volle geoutomatiseerde melking van koeie toon aan dat outomatiese aanhegting van 'n melkmasjiene se speenhulse aan 'n koei se spene, die belangrikste oorblywende melkerytaak is om geoutomatiseer te word.

ABSTRACT

Technology for the fully automated milking of cows

Since dairy farming is a very labour intensive, seven-days-per-week activity, increasing emphasis is being placed on the use of advanced technology in dairying throughout the world. Dairy mechanisation has been well established for many years, whereas dairy automation has only started to gain momentum fairly recently. An important milestone was the introduction of systems for automatic animal identification in the 1970's. That paved the way for all further dairy automation activities. An analysis of the current status of the fully automated milking of cows shows that the automated attachment of a milking machine's teat cups to a cow's teats is the most important task in dairying that remains to be automated.

INLEIDING

Melkboerdery is 'n sewe-dae-per-week-onderneming, wat nie net sensitief is vir die beskikbaarheid van toepaslik opgeleide werkers nie, maar wat ook moeilike vereistes aan die melkboer en aan sy werkers stel. Hierdie vereistes sluit in: (i) minstens twee melksessies per dag, wat - hoe dit ookal oor 'n dag versprei word - meebring dat daar elke dag *na-ure* gewerk moet word; (ii) dit is 'n daaglikse roetinewerk; (iii) dit verg baie fisiese inspanning (selfs al word *melkmasjiene* gebruik) en (vi) werkers word soms deur koeie beseer.

In die loop van ekonomiese ontwikkeling in enige land vind 'n migrasie van arbeid plaas, vanaf die primêre sektore van die ekonomie (landbou en mynbou) na die ander sektore van die ekonomie.²⁵ Die eerste landbou-aktiwiteite wat deur so 'n arbeidsmigrasie beïnvloed word, is die arbeidsintensiewes - soos melkboerdery.

Ten einde bogenoemde probleemareas in melkboerdery te verlig, word *meganisasie* - wat gedefinieer kan word as die aanvulling (of soms selfs vervanging) van spierkrag d.m.v. masjiene - vir baie jare reeds deur melkboere toegepas. Alhoewel meganisasie die fisiese las van 'n melkboer en sy werkers kan verlig, is die werkers steeds nodig as operateurs (wat die gebruiksaanwysings van die masjiene moet verstaan); asook vir uitvoering van die take wat tot nou toe nie algemeen

gemeganiseer is nie. In terme van die vereistes hierbo gesels, is dit slegs (iii) en (iv) wat in 'n mate verlig word d.m.v. meganisasie. Nuwe moontlikhede wat deur moderne elektroniese tegnologie gebied word, bring mee dat outomatisasie - die aanvulling (of vervanging) van spierkrag, breinkrag en sensoriese vermoëns deur middel van (aanpasbare rekenaargebaseerde) masjiene - toenemend meer van belang in melkboerdery word.

Benewens die taak om melk uit 'n koei se uier te onttrek, behels melkboerdery baie ander take wat aandag moet kry voordat ten volle geoutomatiseerde melkboerdery 'n realiteit kan wees. (Daar is ook nog vele ander dimensies aan outomatiese melking, soos die sosio-ekonomiese implikasies, dierewelsyn, impak op die natuurlike omgewing, ens.⁵) Die doel van hierdie artikel is egter slegs om 'n oorsig te gee van die belangrikste tegnologiese ontwikkelings op die gebied van die outomatiese melking van koeie.

OUTOMATISASIE VAN DIE MELKPROSES

Outomatiese identifikasie van koeie

Omdat suksesvolle outomatisasie van die melkproses afhang van die mate waartoe die outomatiese stelsel by elke individuele koei kan aanpas, berus melkery-outomatisasie eerstens op die outomatiese identifikasie van koeie. Daarom is een van die belangrikste tegnologiese ontwikkelings wat bygedra het tot 'n groot

klemverskuiwing van gemeganiseerde melkboerdery na geoutomatiseerde melkboerdery, die bekendstelling van outomatiese identifikaasiesistels vir diere in die sewentigerjare.^{7,12,17,21}

As gevolg van die daaropvolgende snelle ontwikkelings in die mikro-elektronika, word hoogs gesofistikeerde identifikaasiesensors tans algemeen geïmplementeer as deel van *nommerplaatjies* wat aan die diere se ore gehang word, as deel van nekbande of pootgespes, of as klein glaskapsules wat onder die vel ingeplant word.^{1,8,9,11,20,26} Alhoewel hierdie tegnologie ver gevorderd is, is daar steeds ruimte vir baie ontwikkelingswerk in hierdie veld – veral wat betref identifikasie oor afstande groter as enkele sentimeter.

Gereelde melking van elke koei

Indien elke koei in 'n kudde suksesvol outomaties geïdentifiseer kan word, bestaan daar verskillende metodes om outomaties te verseker dat elke koei tydens haar laktasie gereeld gemelk word:

- Outomatiese voerstasies word reeds algemeen gebruik om voorafberekende porsies kragvoer en/of ruvoer op 'n beheerde wyse aan elke dier individueel vry te stel. Koeie leer gou om die voerstasie gereeld te besoek, op soek na 'n porsie voer. Die konsep om die koeie tydens besoeke aan die voerstasie te melk, is in Nederland ondersoek, en daar is bevind dat koeie die voerstasies gemiddeld byna vyf maal per dag besoek, en dat hulle tydens elke besoek gemelk kan word.²⁴
- Deur gebruik te maak van 'n geoutomatiseerde seleksiehek by 'n punt waardeur die koeie gereeld beweeg, bv. oppad na die waterkrip toe, kan koeie gedwing word om gereeld *aan te meld* om gemelk te word.¹⁴
- Duitse navorsers het 'n seintoestel ontwikkel wat deur elke koei as deel van 'n oorplaatjie gedra word. 'n Sentrale beheerrekenaar word dan gebruik om roepseine na elke individuele koei te stuur sodra sy moet *aanmeld* om gemelk te word.²⁸ (Die koeie leer baie gou wat die roepseine beteken, en reageer baie goed daarop.)

Navorsers in Nederland en Brittanje het melkproduksieverhogings van tot 20% aangetoon wanneer koeie vier maal, in plaas van twee maal per dag, gemelk word – sonder vergelykbare toenames in voerverbruik, of sonder 'n negatiewe invloed op uiergesondheid of melk-kwaliteit.^{6,24} (Alhoewel hierdie eksperimente onder goed beheerde omstandighede uitgevoer is, is dit in werklike melkerye gedoen. Dit is dus nie onrealistiese resultate wat slegs in laboratoriums moontlik is nie.) Met elk van bogenoemde metodes is dit moontlik om koeie meer gereeld as die konvensionele twee of drie maal per dag te melk, mits die ander take in die melkproses ook geoutomatiseer kan word. Indien 'n sentrale beheerrekenaar die databasis waarin melkproduksie (en verskeie ander parameters) genoteer word, gereeld nagaan, kan 'n alarm geaktiveer word indien enige koei nie gereeld gemelk word nie, of indien ander foute in die stelsel sou voorkom. (Dit is duidelik dat 'n operateur steeds noodsaaklik is om op die alarm te reageer – en ook om die diere gereeld te inspekteer. Dit kan nou egter geskied met 'n minder rigiede skedule.)

Beperkings van bewegings in die melkpunt

Sodra 'n koei die *melkpunt* (hetsy 'n voerstasie of 'n konvensionele melkpuntaal) betree het, moet haar

bewegings beperk word voordat sy gemelk kan word. Verskillende tegnieke is reeds vir outomatisasie hiervan ontwikkel, waaronder 'n staanplek met outomaties bewegende sye wat die koei liggies in die staanplek sentreer, en wat ook aanpas by koeie van verskillende lengte,¹⁶ en meganismes waar daar gebruik gemaak word van 'n konvekse vloer om die koei se agterpote effens uitmekaar te hou; en van twee stawe wat van die vloer af opwaarts beweeg (aan die binnekant van die koei se agterbene langs) ten einde haar agterbeenbewegings te beperk.⁴ (Groot klem word geplaas op die ontwikkeling van apparaat wat nie enige beserings aan die koeie sal veroorsaak nie.)

Skoonmaak van die uier en spene

Skoonmaak van die koei se uier kan outomaties gedoen word d.m.v. roterende borsels en waterspuite, en die uier kan d.m.v. lug wat oor die uier geblaas word, afgedroog word. Ten einde die melkpunt droog te hou, is dit wenslik om nie die uier in die melkpunt te was nie. Dit wasproses stimuleer egter die uier, wat lei tot afskeiding van die hormoon oksitosien, en dit lei weer tot die koei se *melksakking* (aanvang van melkvloei). Hierdie aspek noodsaak dus dat die wasproses wel in die melkpunt geskied, en dat die koei so spoedig moontlik daarna gemelk moet word.

Onttrekking van melk uit die uier

Masjiengebaseerde melkwinning berus op die pulserende vakuumsakking van 'n melkmasjien.³ (Verdere stimulasie van die koei se uier kan ook in hierdie stadium gedoen word deur hoëfrekwensie-vakuumpulse op die speenhulse aan te lê.²⁹) Wanneer die koei gemelk word, is dit belangrik om verskillende parameters te meet, en te noteer as deel van die kuddebestuur-databasis. Verskillende sensors is reeds vir hierdie doel ontwikkel, bv. vir meting van die geleidingsvermoë van die melk, as moontlike aanduiding van uiersiektes (soos mastitis); vir meting van melkvloeitempo, ten einde die koei se produksie te bepaal, en ten einde vas te stel wanneer die koei klaar gemelk is; vir meting van melktemperatuur, as aanduiding van die koei se algemene gesondheidstoestand en oestrus; en vir meting van die melk se bottervetinhoud.^{19,30}

Verwydering van die speenhulse

Verwydering van die speenhulse vanaf die spene word gedoen d.m.v. 'n outomatiese vakuümverligter, wat die speenhulse toelaat om van die spene af te val sodra die melkvloeitempo benede 'n ingestelde drumpelwaarde daal.² Dit behels dat die speenhulse onder die koei uitgehaal word, afgespoel en ontsmet word, en gereed geplaas word vir aanhegting aan 'n volgende koei. Die afspoeling en ontsmetting van die speenhulse word ook d.m.v. sproeiërs gedoen. (Die melkmasjiene moet egter op 'n gereelde basis 'n intensiewe wassiklus deurloop, ten einde te verseker dat higiëniese toestande deurgaans gehandhaaf word. Outomatisasie van so 'n proses is maklik, maar gereelde inspeksie van die melkmasjiene sal nodig wees.) Die uier en spene word hierna ook ontsmet d.m.v. sproeiërs. Speensalf kan – indien nodig – ook outomaties aangewend word d.m.v. 'n sagte, roterende *poleerskyf* wat onder die uier inbeweeg, en aan die een kant deur 'n houër met speensalf draai, en aan die ander kant oor die koei se spene en uier vryf.

Verlating van die melkpunt

Outomatisasie van die proses om 'n koei sover te kry om weer die melkpunt te verlaat, word gedoen deurdat die melkpunt se hek outomaties oopgaan nadat die speenhulse verwyder is, en die spene ontsmet is. Indien daar in 'n voerstasie gemelk word, is sommige koeie opportunisties, en hoop dat daar nog voer sal uitkom as hulle 'n rukkie sou wag. Elektries gelaaiede kettings, wat van die dak af afrol ten einde die koei 'n baie ligte skok op die rug te gee wanneer sy die melkpunt moet verlaat, oorkom hierdie probleem.²⁸ Alhoewel hierdie tegniek uit 'n dierewelsynsoogpunt omstrede kan wees, leer koeie so gou dat die meeste dadelik uitgaan sodra die kettings hoorbaar begin beweeg, selfs lank voor die kettings aan hulle kan raak.

Aanhegting van die speenhulse

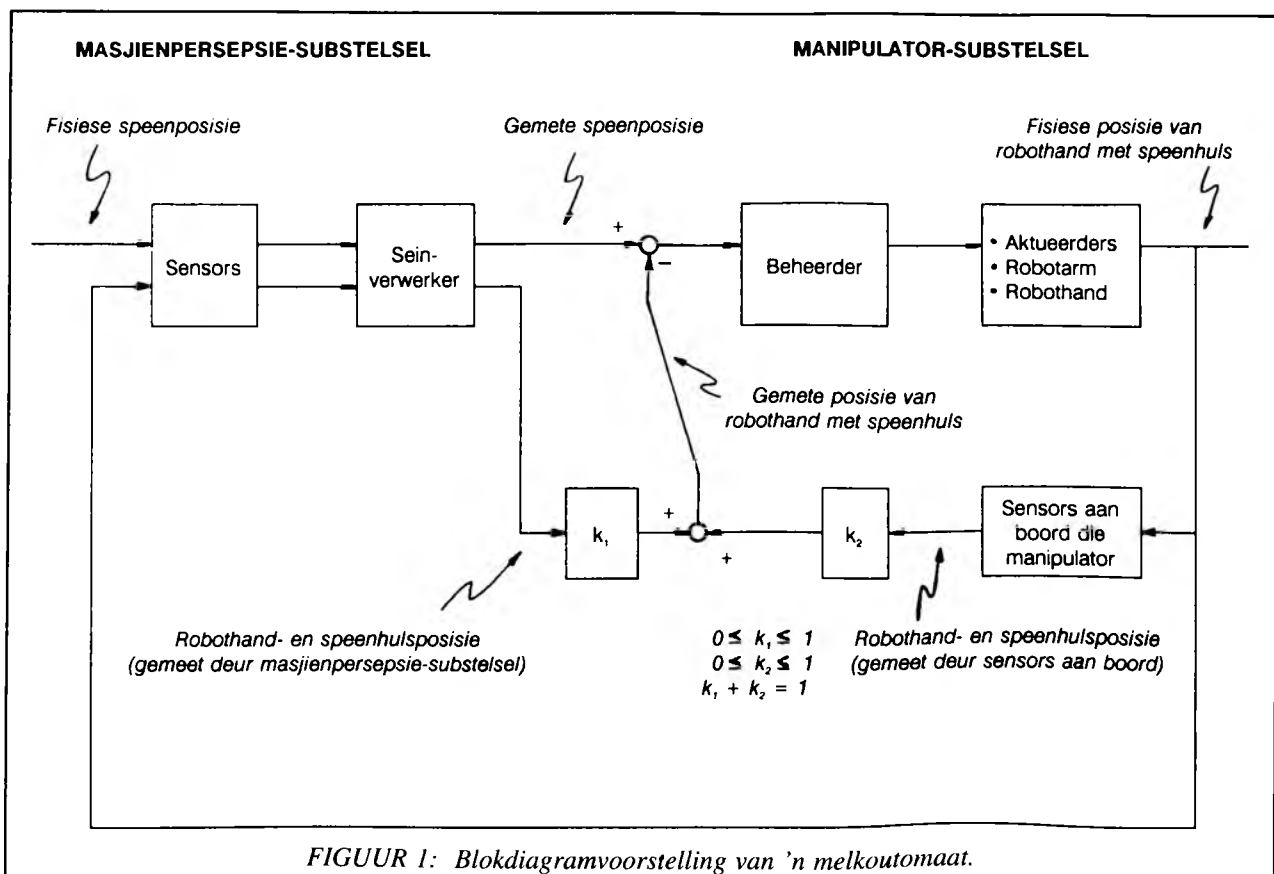
In die bespreking tot dusver is die kwessie van hoe die melkmasjien se speenhulse aan die spene geheg word, agterweë gelaat. Hierdie probleem het aanleiding gegee tot intensiewe navorsing en ontwikkeling op die gebied van melkoutomate (oftewel robotiese melkmasjiene). 'n Melkoutomate bestaan uit twee substelsels, wat blokdiagrammaties voorgestel word in figuur 1:

- 'n Waarnemer-substelsel vir inspeksie van die koei se spene en vir intydse lokalisering van die spene ten einde die speenhulse te kan aanheg. Hierdie substelsels bestaan uit een of meer sensors, gerig na die koei se uier en spene, asook 'n seinverwerkings-eenheid.
- 'n Manipulator-substelsel ten einde die speenhulse aan die spene te kan aanheg, op grond van die posisies bepaal deur die waarnemer-substelsel. Hierdie substelsel bestaan uit 'n beheerder en 'n robotarm met 'n robothand en aktueerders.

Gouws⁵ gee 'n oorsig van verskillende benaderings tot die ontwikkeling van melkoutomate, en bespreek ook die sistematiese ontwikkeling van 'n masjienvisie-gebaseerde melkoutomate in diepte. Alhoewel daar steeds praktiese probleme bestaan, wat opgelos moet word voordat melkoutomate 'n algemene realiteit sal wees, is dit 'n tegniese-realiseerbare konsep. Die werk van verskeie navorsers het nou reeds 'n voldoende basislyn daargestel vir verdere ontwikkelinge in hierdie veld.^{2,5,10,13,18,22,23,27} Ten einde melkoutomate volledig te realiseer, moet die uitstaande probleemareas wat deur bg. navorsers geïdentifiseer is egter stelselmatig opgelos word. Hierin lê groot uitdagings vir ingenieurs en wetenskaplikes oor 'n wye front.

SAMEVATTING

Outomatiese identifikasie van koeie – waarvoor die tegnologie ongeveer in 1970 volwassenheid begin bereik het – was die eerste groot stap in die rigting van ten volle geoutomatiseerde melkboerdery. 'n Ontleding van die take wat uitgevoer moet word ten einde 'n koei te melk, toon aan dat die meeste hiervan reeds suksesvol ten volle geoutomatiseer is (of kan word) met behulp van die huidige beskikbare tegnologie. Die een taak wat egter tot onlangs nog agterweë gelaat is, is die implementering van 'n melkoutomate vir outomatiese aanhegting van 'n melkmasjien se speenhulse aan 'n koei se spene. Hiervoor word 'n sensorgebaseerde (of minstens 'n sg. *derde-generasie*-) robotstelsel³¹ benodig, wat kan aanpas by onsekerhede en veranderings in die omgewing waarbinne dit moet funksioneer, op grond van 'n gevorderde waarnemer-substelsel. (Die tegniese besonderhede van melkoutomate word nie in hierdie artikel behandel nie, maar die leser word verwys na Gouws⁵ vir 'n breedvoerige bespreking daarvan.)



FIGUUR 1: Blokdiagramvoorstelling van 'n melkoutomate.

SUMMARY

Introduction

Dairy farming is a seven-day-per-week activity, which is sensitive to the availability of appropriately trained labour. It also poses strenuous requirements for the dairy farmer and his labourers, such as: (i) regular work *after hours*; (ii) strict daily routines; (iii) physical effort (even if *milking machines* are used); and (iv) animal-inflicted injuries. During the course of economic development in any country, a migration of labour takes place from the primary sectors of the economy (agriculture and mining) to the other sectors. The first agricultural activities to be affected by this migration are the labour-intensive ones such as dairying. In order to relieve these problem areas in dairying, *mechanisation* – which can be defined as the enhancement (or sometimes even replacement) of muscle power by means of machines – has been used by dairy farmers for many years. Modern electronic technology has given rise to *automation* – the enhancement (or replacement) of muscle power, brain power and sensory abilities by means of adaptable computer-based machines which has become increasingly important in dairying. The purpose of this paper is to provide an overview of the most important technological developments in the field of automated dairying.

Automation of the process of milking a cow

Automated identification

Successful automation of the process of milking a cow depends on the degree to which the automated system can adapt to individual cows. This requires cows to be identified automatically. The successful implementation of automatic animal identification systems since the 1970's has therefore been one of the major factors expediting a move from mechanised to automated dairying.

Regular milking of each cow

If each cow in a herd can be identified automatically, then there are various methods of automatically ensuring that each cow is milked regularly:

- Cows can be milked during their visits to automatic feeding stations.
- Automatic selection ports can be used at points through which cows move regularly.
- German researchers have developed a signalling device that is worn by each cow as part of an ear tag. A central computer then *calls* the cow when it is time to report at the milking booth.

If a central computer is used regularly to check the database in which individual cows' milk production is recorded, an alarm can be activated should any cow not be milked regularly.

Limitation of cow movement in the milking booth

In order to milk a cow, her movements should be restricted in the milking booth. There are various techniques for automating this task, e.g. a stall with moving sides, and an arching floor to keep her hind legs slightly apart. (Great emphasis is placed on the development of *cow friendly* apparatus for this purpose.)

Cleaning of the udder and teats

Cleaning of the cow's udder can be automated by means of rotating brushes and water-spraying nozzles; and it can be dried by blowing air over it.

Milking the cow

Mechanised milking is based on the pulsating vacuum action of a milking machine. The technology is well established in the dairy industry, and was in fact the foundation of mechanised dairying.

Removal of teat cups

The removal of a milking machine's teat cups from the teats can be automated by means of vacuum-release mechanism that is activated as soon as the milk flow rate drops below a predetermined threshold. A mechanism is required for removing the teat cups from underneath the cow, and for rinsing them with clean water and a disinfectant. This can also be accomplished by means of a nozzle that spray water onto the teat cups.

Leaving the milking booth

The process of removing the cow from the milking booth can be automated by means of a gate that opens automatically once the teat cups have been removed from the teats. Electrically charged chains can be lowered from the roof in order to lightly shock a cow that is not willing to leave. Although this technique could be controversial from an animal-welfare point of view, experiments in the Netherlands have shown that cows retreat as soon as they hear the chains moving – i.e. long before they can be shocked.

Attaching the teat cups

Thus far the question of attaching the milking machine's teat cups has not been addressed. This problem gave rise to intensive research on milking robots. A milking robot typically consists of two subsystems:

- A machine perception subsystem for inspection of the cow's teats and for real-time localisation of the cow's teats. This subsystem typically consists of one or more sensors that are aimed at the cow's udder and teats and a signal-processing unit.
- A manipulator subsystem for attaching the teat cups to the teats. This subsystem typically consists of a controller, a robot arm and hand, and actuators.

A thorough development baseline has already been created through research in this field, thereby making it a viable option for completing the process of automating dairy farming. There are, however, still a number of matters to be cleared up before milking robots become a common reality.

Conclusion

The automatic identification of cows was the first major step towards fully automated dairying. An analysis of the tasks to be performed in order to milk a cow shows that most of these are already (or could be) automated by means of existing technology. The one task that was a limiting factor until recently was automatic attachment of a milking machine's teat cups to a cow's teats.

This is, however, now also becoming possible by making use of modern computer-based sensor and robot systems for the implementation of milking robots.

LITERATUURVERWYSINGS

1. Amlaner, C.J. & MacDonald, D.W. (1980). *A Handbook on Biotelemetry and Radio Tracking* (Pergamon Press, Oxford).
2. Artmann, R. & Schillingmann, D. (1990). Entwicklungstand von Melkrobotern, *Landtechnik*, 45, 437-440.
3. Castle, M.E. & Watkins, P. (1979). *Modern Milk Production: Its Principles and Applications for Students and Farmers* (Faber and Faber, London).
4. Farmers Weekly (1990). Robot Milking and the Gentle Art of Persuasion, *Farmers Weekly* (U.K.), 16 Feb., 48.
5. Gouws, J. (1993). *The Systematic Development of a Machine Vision Based Milking Robot* (Ph.D. proefskrif, Landbou-universiteit Wageningen, Nederland).
6. Grimm, H. & Rabold, K. (1987). Studies on Automation of Machine Milking, *Proc. Third IMAG Symposium Automation in Dairying*, Wageningen, Nederland, 277-282.
7. Hanton, J.P. & Leach, H.A. (1974). Electronic Livestock Identification Systems, *VSA Patentno. 4,262,632*.
8. Jevtic, M., Petric, G. & Todorovic, S. (1987). Acquisition of Data in a Computer Management System on Big Dairy Farm, *Proc. Third IMAG Symposium Automation in Dairying*, Wageningen, Nederland, 357-364.
9. Keller, P. & Krohn, C.C. (1987). Electronic registration of behaviour and production utilization of the results in a management system in a dairy herd, *Proc. Third IMAG Symposium Automation in Dairying*, Wageningen, Nederland, 369-375.
10. Klomp, C., Jongkind, W., Honderd, G., Dessing, J. & Paliwoda, R. (1990). Development of an Autonomous Cow-Milking Robot Control System; *IEEE Control Systems Magazine*; Oct., 11-19.
11. Kuip, A. (1987). Animal Identification, *Proc. Third IMAG Symposium Automation in Dairying*, Wageningen, Nederland, 12-17.
12. Lemberger, R.R. (1974). Electromagnetically Responsive Device and System for Detecting the Same, *VSA Patentno. 4,087,791*.
13. Marchant, J.A., Street, M.J., Gurney, P. & Benson, J.A. (1987). Pneumatics for Robot Control, *Proc. Third IMAG Symposium Automation in Dairying*, Wageningen, Nederland, 296-308.
14. Metz-Stefanowska, J., Pluigers, H.G., Rossing, W. & Ketelaar-De Lauwere, C.C. (1989). Eerste ervaringen met het gebruik van een selectiepoort bij koeien, *IMAG Navorsingsverslag 112*, Wageningen, Nederland.
15. Moffitt, J.E. (1970). System for Identifying and Feeding Animals, *VSA Patentno. 3,516, 575*.
16. Montalescot, J.B. & Mechineau, D. (1987). French Research Works as to Milk Collection Mechanization and Robotization, *Proc. Third IMAG Symposium Automation in Dairying*, Wageningen, Nederland (Speciale uitdeelstuk).
17. Nielsen, H. & Salling, P. (1979). Identification System, *VSA Patentno. 4,165,033*.
18. Ordolff, D. (1983). Investigations on a System for Automatic Teat Cup Attaching, *Agricultural Electronics - 1983 and Beyond: Proc. National Conference on Agricultural Electronics Applications*, Chicago, Illinois, II, 501-507.
19. Ordolff, D. (1987). Investigations on the Influence of Fat Concentration in Milk on the Accuracy of Sampling Devices in Milk Meters, *Proc. Third IMAG Symposium Automation in Dairying*, Wageningen, Nederland, 253-258.
20. Pirkelmann, H. & Stanzel, H. (1986). Identification Systems for Group Feeding, *Symposium on Cow Identification Systems and Their Applications*, Wageningen, Nederland, C1-C7.
21. Rodrian, J.A. (1977). Animal Identification System, *VSA Patentno. 4,129,855*.
22. Rossing, W. (1988). Wird Melkzeit zur Freizeit?, *DLG-Mitteilung*, 103, 6 Okt.
23. Rossing, W. (1989). De Melkrobot: Ontwikkelingen in Europa, *Landboumechansatie*, 6,54-55.
24. Rossing, W., Ipema, A.H. & Veltman, P.F. (1985). The Feasibility of Milking in a Feeding Box, *IMAG Navorsingsverslag 85-2*, Wageningen, Nederland.
25. Singelmann, J. (1978). *From Agriculture to Services, The Transformation of Industrial Employment* (Sage Publications, Beverly Hills).
26. Spahr, S.L., Puckett, H.B. & Deligeersang (1987). Performance of Electronic Animal Identification Systems in the Milking Parlor, *Proc. Third IMAG Symposium Automation in Dairying*, Wageningen, Nederland, 385-394.
27. Swormink, B.K. (1991). Melkrobot moet nog een paar jaartjes oefenen, *Boerderij*, 76, 36-37.
28. Wierenga, H.K. & Hopster, H. (1987). Behavioural Research for the Further Development of Systems for Automatic Concentrate Feeding, *Proc. Third IMAG Symposium Automation in Dairying*, Wageningen, Nederland, 52-61.
29. Worstorff, H., Karch, G., Prediger, A. & Schams, D. (1987). Integrating Mechanical Stimulation to Machine Milking, *Proc. Third IMAG Symposium Automation in Dairying*, Wageningen, Nederland, 207-215.
30. Wheeler, P.A. & Graham, K.L. (1986). A Computerized Milk Temperature and Conductivity Measuring Device for Dairy Use, *Proc. Agri-Mation 2 Conference & Exposition*, Chicago, Illinois, 9-17.
31. Neuheuser, H. (1989). Artificial Intelligence in Battlefield Robotics, *Military Technology, MILTECH*, June 1989, 67-74.