

**AN INSTRUCTIONAL SUPPORT SYSTEM
FOR
TRAINING SIMULATORS**

PROEFSCHRIFT

ter verkrijging van
de graad van doctor aan de Universiteit Twente,
op gezag van de rector magnificus,
prof. dr. Th. J. A. Popma,
volgens besluit van het College voor Promoties
in het openbaar te verdedigen
op vrijdag 8 december 1995 te 13.15 uur.

door

Hilbert Kuiper

geboren op 11 februari 1953
te Borger

Dit proefschrift is goedgekeurd door de promotor:

Prof. dr. J.C.M.M. Moonen

Assistent-promotor:

Dr. I.S. Stanchev

CIP-DATA KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Kuiper, Hilbert

An Instructional Support System for training simulators /

Hilbert Kuiper. - [S.l. : s.n.] - III.

Thesis Universiteit Twente Enschede. - With ref. - With summary in Dutch.

ISBN 90-9008918-7

Subject headings: Instructional Support System / training simulators

Press: FEBODRUK BV, Enschede - Utrecht

© 1995, Hilbert Kuiper

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, mechanically, by photocopying, by recording, or otherwise, without written permission of the author.

CONTENTS

| | |
|--|-----------|
| PREFACE | xi |
| SUMMARY | xiii |
| SAMENVATTING | xvii |
| 1 INTRODUCTION: TASK OF STUDY AND BASIC DEFINITIONS | 1 |
| 1.1 Overview of the Study and Research Questions | 1 |
| 1.2 Training Simulators | 5 |
| 1.3 Computer Based Training | 11 |
| 1.4 Applications to the Study | 16 |
| 2 A CASE STUDY: ANALYSING THE CURRENT SYSTEM | 19 |
| 2.1 Introduction | 19 |
| 2.2 Description of the Actual Operational System being Simulated | 19 |
| 2.3 Need for a Simulator | 21 |
| 2.4 Training System Issues | 22 |
| 2.5 Description of the Training Program | 25 |
| 2.6 Supporting the Instructor with CBT: An Analysis | 31 |
| 2.7 Conclusions | 35 |
| 3 ANALYZING INSTRUCTOR TASKS AND THE NEED FOR SUPPORT | 37 |
| 3.1 Overview | 37 |
| 3.2 Instructor Tasks | 37 |
| 3.3 An Empirical Study for Instructor Tasks | 42 |
| 3.4 Overcoming the Bottle-Neck: An Instructional Support System | 48 |
| 3.5 Requirements for an Instructional Support System | 50 |
| 3.6 Conclusions | 56 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4 | DESIGN OF A GENERALIZED INSTRUCTIONAL SUPPORT SYSTEM | 57 |
| 4.1 | Design Approach | 57 |
| 4.2 | User Interfaces | 64 |
| 4.3 | System Architecture | 66 |
| 4.4 | Detailed Description of ISS | 71 |
| 4.5 | Conclusions | 97 |
| 5 | EVALUATION OF THE AUTHORING COMPONENT | 99 |
| 5.1 | Introduction | 99 |
| 5.2 | Objectives and Criteria for the Evaluation of the Authoring Component | 100 |
| 5.3 | Choice of Evaluation Criteria for this Study | 104 |
| 5.4 | Approach to the Evaluation | 113 |
| 5.5 | Overview: Two Phases of the Evaluation | 115 |
| 5.6 | The Expert-Phase Evaluation: Method and Procedure | 116 |
| 5.7 | Representative-User Evaluation: Usability Criteria and Functional Completeness from User Perspective | 122 |
| 5.8 | Conclusions with Respect to the Representative-User Evaluation | 160 |
| 5.9 | Reflecting on the Research Questions | 163 |
| 6 | THE EFFICIENCY OF AN INSTRUCTIONAL SUPPORT SYSTEM | 169 |
| 6.1 | Overview | 169 |
| 6.2 | Concepts and Issues | 169 |
| 6.3 | The Efficiency of an ISS | 176 |
| 6.4 | Cost-Analysis Approach | 179 |
| 6.5 | Conclusions | 197 |
| 7 | CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS | 199 |
| 7.1 | Conclusions from the Current Study | 199 |
| 7.2 | Recommendations for Further Research | 202 |
| 8 | REFERENCES | 205 |

APPENDICES

| | |
|--|-----|
| Appendix A: Examples of PLT | 215 |
| Appendix B: Questionnaire instructor tasks | 221 |
| Appendix C: Example of an authoring session | 227 |
| Appendix D: Results of Seidel & Park's criteria list discussion | 249 |
| Appendix E: Exercises and questions evaluation authoring component | 255 |
| Appendix F: General questions and proposal for HELP facility | 267 |
| Appendix G: Full ingredients list instructional system | 275 |

| | |
|-------------------------|------------|
| ABOUT THE AUTHOR | 279 |
|-------------------------|------------|

LIST OF FIGURES

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figure 2.1 | Training Simulator Configuration | 25 |
| Figure 2.2 | Simulator training levels | 28 |
| Figure 2.3 | Relationship CBT system - simulator | 32 |
| Figure 3.1 | Typical Training Simulator Configuration | 38 |
| Figure 3.2 | ISS-Simulator interaction | 52 |
| Figure 3.3 | The basic architecture of an ISS | 54 |
| Figure 4.1 | A sample Context Diagram | 59 |
| Figure 4.2 | A sample Data Flow Diagram | 61 |
| Figure 4.3 | A sample State Transition Diagram | 62 |
| Figure 4.4 | Architecture of the training system | 68 |
| Figure 4.5 | Interfaces between components | 70 |
| Figure 4.6 | Classification of a simulator into units | 72 |
| Figure 4.7 | Example of simulator description | 73 |
| Figure 4.8 | Example of action description | 74 |
| Figure 4.9 | Course decomposition | 76 |
| Figure 4.10 | Lesson-module network | 77 |
| Figure 4.11 | Window placement | 79 |
| Figure 4.12 | Network editor | 82 |
| Figure 4.13 | Module editor | 83 |
| Figure 4.14 | Training Component main functions | 85 |
| Figure 4.15 | The timing window mechanism | 85 |
| Figure 4.16 | Example of score partition | 87 |
| Figure 4.17 | Example of instructor communication prototype | 92 |
| Figure 4.18 | Contents of the general student-performance model | 94 |
| Figure 4.19 | Contents of the general course performance model | 95 |
| Figure 4.20 | Student personal data | 96 |
| Figure 4.21 | Overview of module scores | 96 |
| Figure 5.1 | The experimental setting for one subject. | 140 |
| Figure 6.1 | The cases | 177 |
| Figure 6.2 | Cost comparisons | 196 |

| | | |
|------------------|---|-----|
| Figure A.1 | Mobile configuration part one Instructor Console etc. | 216 |
| Figure A.2 | Mobile configuration part two simulator turrets | 217 |
| Figure A.3 | Instructor's console | 218 |
| Figure A.4 | Interior of simulator turret | 219 |
| Figure C.1- C.18 | Examples of authoring system | 231 |
| Figure E.1 | Screendump module/procedure editor | 258 |
| Figure F.1 | The 'HELP' pictogram | 269 |
| Figure F.2 | Example of HELP-manual window | 272 |
| Figure F.3 | Example 'Helpindex-window' | 273 |

LIST OF TABLES

| | | |
|-----------|---|-----|
| Table 5.1 | Functional completeness, based on expert evaluation of criteria from Seidel and Park, 1993. | 118 |
| Table 5.2 | Results AA-Defence School Ede | 143 |
| Table 5.3 | Results Fla-Schule Rendsburg | 154 |
| Table 6.1 | Development & Procurement cost | 192 |
| Table 6.2 | Development & Procurement cost ISS ₀ , ISS ₁ , ISS ₂ | 194 |

PREFACE

The work described in this dissertation has been carried out as part of the research program of the research group Training and Instruction at TNO Physics and Electronics Laboratory. I am indebted to the TNO Organisation and especially to the management of TNO Physics and Electronics Laboratory for making this research possible by allocating time and money for the work.

Several people have contributed to the realisation of this dissertation. On this place I want to thank the following persons.

- My promotor prof. dr. J.C.M.M. (Jef) Moonen for the stimulating discussions and his constructive contribution to different chapters.
- My assistant promotor dr. I.S. (Ivan) Stanchev for his clear analysis, constructive contributions and ideas.
- Dr. B.A. (Betty) Collis for her contribution to the structure of the evaluation description and for reviewing large parts of the English text.
- My colleagues from TNO Ton Ambagtsheer and Geert Slegtenhorst for the realisation of large parts of the system and for their contribution to evaluation studies. Without this, the study could not have been carried out in this way.
- Hans Roghair for prompting me to carry out this study.
- Gerk van der Veen, Charles van der Mast, Rik Min and Jan Schoenmaker for coaching in the initial stage.
- Ted Kiewiet de Jonge, one of the originators of the first generation Instructional Support System, for his contribution to the design of the evaluation exercises.
- All instructors and heads of training schools who made the evaluation of the authoring system possible.
- Patrick Rikken and Rob ter Hedde for their contribution concerning the evaluation studies.
- All other colleagues who contributed directly or indirectly to the study but whom I did not mention here.

And last but not least I want to thank my wife Petra and my daughter Mariëtte for allowing me to spend a lot of my leisure time for writing this dissertation.

Hilbert Kuiper, November 1995

SUMMARY

This dissertation deals with a generally applicable instructional support system applied to training simulators. Objective of the computer-mediated instruction system is to relieve the workload of the instructor by supporting him in the conduction of the instructional process resulting into an increase of operational efficiency and cost-efficiency.

Training simulators often are a mandatory educational medium for some kinds of training, e.g. pilot training, tank crew training, and submarine training. Besides the fact that training simulators are cost-effective also dangerous situations - like engine failure - that cannot be practised on the operational system can be trained.

The instructor giving instruction through a training simulator usually has a high workload. A number of tasks have to be performed simultaneously during the conduction of the exercise: brief students, start exercise, monitor trainee performance, consult manual, insert malfunctions, coach and debrief students. Some of the tasks of the instructor can be supported by using an instructional support system (ISS). For instance when complex procedural training for operations is involved, the performance monitoring and judgement can be automated. This is demonstrated sufficiently by a computer-mediated instructional support system that is in use for over 10 years for a training simulator for an armoured vehicle. This instructional support system consists of: a preparation system to make courseware, a training part that conducts the (real-time) training and an evaluation system. The training part consist of an analysis, a judgement and a progress determination part.

The development of a more generally applicable computer-mediated instructional support system was considered for the following reasons: (a) the user satisfaction about the existing tailor made system, (b) the fact that a lot of procedural training is very similar for different types of operational systems, and (c) the fact that due to considerable modifications of the operational system a new training system had to be developed. This second generation ISS will in its basic form be suitable for complex procedural training for operations, such as procedural training for flight crew and operator training.

During the development of the ISS, being part of a large simulator project, structured methods (Yourdon) were used to analyze and design the system and also quality assurance guide-lines have been applied.

The resulting system consists of four components:

- **System Definition.** With this component the simulator is defined. It is the key to general application.
- **Authoring.** With the authoring component the courseware is created, i.e. lesson modules containing scenarios and judgement criteria.
- **Training.** The training component controls the real-time training. It consists of progress, lesson module set-up, analysis, judgement and instructor communication. Progress selects the proper lesson module. The lesson module is set up and runs in the simulator during which all actions of the students are recorded. Then analysis and judgement determine a score by comparison with predefined (during authoring) expert solutions. The instructor communication takes care of presenting the instructor with relevant information (e.g. progress of student and scores). The instructor can always overrule the computer-mediated instruction process by hand.
- **Administration.** Administration keeps track of a personal student file and can also be used for off-line evaluation purposes.

A prototype of the ISS is ready now. Since the instruction system will be part of a training simulator a good evaluation of the instruction system will only be possible if a prototype of the complete training simulator is ready and the instruction system has been integrated. However because the authoring component is rather stand alone it was possible to perform a formative evaluation in an early stage. The authoring component is using a WIMP (Windows, Icons, Mouse, Pointer) environment and is implemented on a commercially available workstation. Two different methods of evaluation have been applied:

- a Using criteria from literature to carry out a check on the functional completeness: the checklist method. The criteria focus on the categories: instructional design aids, development aids, flexibility, user friendliness and cost & affordability.

- b Experimental evaluation sessions with future users (instructors) of the system: the representative user evaluation. One category of users was experienced in using computer-mediated instruction and the other category was inexperienced with computer-mediated instruction. Both categories were experts with the learning domain. The experimentals received one day introduction into the system and then had one day to create a lesson step by step using all the features of the system. During the exercises and at the end of the exercises they received questionnaires and also an evaluator made notes during the sessions.

Literature criteria evaluation rendered a fairly well functional complete authoring component, except for the lack of help features and support during the initial stages of instructional design. Also more graphical feedback could be an option.

What was remarkable during the experimental evaluation was the ease with which the subjects learned to handle the system. After one day of introduction and one day of making exercises all subjects (whether having computer experience or not) could make a lesson. A result that is encouraging and is an indication that with a WIMP-environment lesson development time can be reduced. The system adds to the operational efficiency of training.

One point for improvement that resulted from this evaluation was the lack of graphical overviews. This indeed can be improved. A side-effect of doing formative evaluations with future users is the fact that they can give their opinion in an early stage of the development process. As a result they have a feeling of being involved and get enthusiastic.

Also an important question is whether use of an instructional support system is cost-efficient as compared to the use of no computer-mediated instructional support. It is clearly demonstrated in literature that training simulators can be cost-effective.

Moreover an ISS leads to less instructors to conduct training, i.e. one instructor can overview more training stations at the same time due to the large support of computer-mediated instruction. It is demonstrated that the number of instructors is the determining component for a cost analysis.

Using a state-of-the-art generalized instructional support system still can increase cost-efficiency, because:

- the system can easily be adapted to modifications and/or an other training simulator, i.e. cost of redevelopment is reduced to a minimum.
- more training stations can be monitored at the same time using state-of-the-art technology.

SAMENVATTING

Dit proefschrift behandelt een algemeen toepasbaar instructie support systeem dat kan worden toegepast voor trainingssimulatoren. Doelstelling van het computer-ondersteunde instructiesysteem is om de werklast van de instructeur te verlichten door hem te ondersteunen bij het uitvoeren van het instructieproces hetgeen resulteert in toegenomen operationele efficiëntie en kostenefficiëntie.

Trainingssimulatoren zijn veelal een verplicht onderwijs medium voor sommige soorten training, bijvoorbeeld piloot training, training van een tankbemanning en training voor de bemanning van een onderzeeër. Naast het feit dat trainingssimulatoren kosteneffectief zijn kunnen ook gevaarlijke situaties - zoals een motorstoring -, die niet op het operationele systeem kunnen worden getraind, door middel van een trainingssimulator geoefend worden.

De instructeur die les geeft middels een trainingssimulator heeft gewoonlijk een hoge werklast. Een aantal taken moeten al dan niet gelijktijdig worden uitgevoerd gedurende het geven van instructie: brieven van leerlingen, starten van de oefening, het bewaken van leerlingacties, raadplegen van handboeken, storingen introduceren, coachen en debrieven van de leerlingen.

Sommige van de taken van de instructeur kunnen ondersteund worden door gebruik te maken van een instructie support systeem (ISS). Bijvoorbeeld wanneer het gaat om complexe bedieningsprocedure training dan kunnen zaken als het bewaken en het beoordelen van de leerlingacties worden geautomatiseerd. Dit is voldoende gedemonstreerd door een computer-ondersteund instructie support systeem dat al meer dan 10 jaar in gebruik is voor een trainingssimulator voor een anti-luchtdoel tank. Dit instructie support systeem bestaat uit: een preparatiesysteem om courseware te maken, een trainingsdeel dat de (real-time) training bestuurt en een evaluatiesysteem. Het trainingsdeel bestaat uit een analyse, beoordelings en voortgangsbepalingscomponent.

De tevredenheid van de gebruiker over dit op maat gesneden systeem, het feit dat veel proceduretrainingen nagenoeg gelijk zijn voor verschillende types operationele systemen en het feit dat in verband met ingrijpende modificaties aan het operationele systeem een nieuw trainingssysteem moest worden ontwikkeld, heeft tot de

overweging geleid om een meer algemeen toepasbaar computer-ondersteund instructiesysteem te ontwikkelen.

Dit tweede generatie ISS zal in zijn basis vorm geschikt zijn om complexe bedieningsprocedure training te verzorgen, zoals bijvoorbeeld procedure training voor vliegtuigbemanning en operator training.

Voor de ontwikkeling van dit ISS dat onderdeel was van een groot simulator project zijn gestructureerde methoden (Yourdon) toegepast om het systeem te analyseren en te ontwerpen en ook aan kwaliteitszorg is de nodige aandacht besteed.

Het resulterende systeem bestaat uit vier componenten:

- **Systeemdefinitie.** Met deze component wordt de simulator gedefiniëerd. Het is de sleutel voor een meer algemene toepassing.
- **Lespreparatie.** Met deze component wordt de courseware aangemaakt, dat zijn de lesmodules die scenario's en beoordelingscriteria bevatten.
- **Training.** Deze component bestuurt de real-time training. De component bestaat uit voortgang, lesmodule set-up, analyse, beoordeling en instructeurscommunicatie. Voortgang selecteert de juiste lesmodule. De lesmodule wordt vervolgens klaar gezet en wordt afgespeeld in de simulator terwijl alle acties van de leerlingen worden vastgelegd. Vervolgens bepalen analyse en beoordeling door vergelijking met van te voren (gedurende lespreparatie) gedefiniëerde expert oplossingen de leerlingresultaten. De instructeurscommunicatie draagt zorg voor het presenteren van relevante informatie (bijvoorbeeld voortgang van de leerlingen en scores) aan de instructeur. De instructeur kan altijd de automatische instructie handmatig overrulen.
- **Administratie.** Administratie houdt een leerlingfile bij en kan ook gebruikt worden voor off-line evaluatie doeleinden.

Een prototype van het ISS is momenteel gereed. Aangezien het instructie systeem deel zal uitmaken van een trainingssimulator is een goede evaluatie van het instructiesysteem alleen mogelijk als het prototype van de trainingssimulator gereed is en het instructiesysteem geïntegreerd is. Echter, omdat de lespreparatie of auteurscomponent tamelijk op zich staat was het mogelijk om een formatieve evaluatie door te voeren in een vroeg stadium. De auteurscomponent maakt gebruik

van een WIMP (Windows, Icons, Mouse, Pointer) omgeving en is geïmplementeerd op een commercieel verkrijgbaar werkstation. Twee verschillende methoden voor evaluatie zijn toegepast:

- a Er is gebruik gemaakt van criteria uit de literatuur om de functionele compleetheid te checken: de checklist methode. De criteria zijn gericht op de volgende categorieën: hulpmiddelen voor het ontwerpen van instructie, hulpmiddelen voor ontwikkeling, flexibiliteit, gebruikersvriendelijkheid en kosten & 'affordability'.
- b Empirische evaluatie sessies met toekomstige gebruikers van het systeem: de 'representative user evaluation'. Eén categorie gebruikers was ervaren in het gebruik van computer-ondersteunde instructie en de andere categorie was niet bekend met computer-ondersteunde instructie. Beide categorieën waren expert met betrekking tot het leerdomein. De proefpersonen ontvingen één dag introductie in het systeem en hadden vervolgens een dag om stap voor stap een les te maken waarbij alle belangrijke functies van het systeem gebruikt dienden te worden.
Gedurende de oefeningen en aan het eind van de oefeningen ontvingen de proefpersonen vragenlijsten en ook een evaluator maakte aantekeningen gedurende de sessies.

Literatuur evaluatie met behulp van een 'checklist' resulteerde in het feit dat de auteurscomponent tamelijk compleet is, behalve het ontbreken van help features en ondersteuning gedurende de beginstadia van het ontwerp van instructie. Ook meer grafische feedback kan een optie zijn.

Wat opmerkelijk was gedurende de empirische evaluatie was het gemak waarmee de proefpersonen leerden omgaan met het systeem. Na één dag introductie en één dag oefeningen maken konden alle proefpersonen (al dan niet met kennis van computers) een les maken. Een resultaat dat bemoedigend is en een indicatie is dat met WIMP-omgevingen de lesontwikkeltijd kan worden gereduceerd. Het systeem verhoogt duidelijk de operationele efficiëntie van training.

Een punt van verbetering dat voortkwam uit de evaluatie was de behoefte aan meer grafische overzichten. Dit kan inderdaad verbeterd worden. Een zijeffect van het doen van formatieve evaluaties met toekomstige gebruikers is het feit dat deze

hun mening al in een vroeg stadium van de ontwikkeling van het systeem kunnen geven. Als gevolg daarvan hebben ze het gevoel dat ze betrokken zijn en raken enthousiast.

Ook een belangrijke vraag is of het gebruik van een ISS kostenefficiënt is vergeleken met het gebruik van geen ISS. In de literatuur is duidelijk aangetoond dat trainingssimulatoren kosteneffectief kunnen zijn.

Bovendien leidt een ISS tot minder instructeurs om training te geven, dat wil zeggen één instructeur kan meer trainingsstations bewaken op hetzelfde tijdstip dankzij de brede ondersteuning van geautomatiseerde instructie. Het is aangetoond dat het aantal instructeurs de bepalende component is voor een kostenanalyse.

Het gebruik van een state-of-the-art gegeneraliseerd instructie support systeem kan de kostenefficiëntie doen toenemen, omdat:

- het systeem eenvoudig kan worden aangepast aan modificaties en/of een andere trainingssimulator; dit betekent dat de kosten van herontwikkeling worden gereduceerd tot een minimum.
- meer trainingssimulatoren tegelijkertijd bewaakt kunnen worden door het gebruik van state-of-the-art technologie.