

Mobile Teleradiologie: Anwendungsszenarien und Benutzeranforderungen

U. Engelmann¹, E. Borälv¹, A. Schröter², K. Bernauer², M. Schwab², C. Söllig², J.L. Lopez³, A. Pappa⁴, M.L. Bahner⁵, R. Loose⁶, H.P. Meinzer¹

¹Deutsches Krebsforschungszentrum, Abt. Medizinische und Biologische Informatik, Im Neuenheimer Feld 80, 69120 Heidelberg; E-Mail: U.Engelmann@DKFZ.de

²Steinbeis-Transferzentrum Medizinische Informatik, Heidelberg, Deutschland

³Sistemas Expertos SA, Madrid, Spanien

⁴Pointercom S.r.l., Rom, Italien

⁵Deutsches Krebsforschungszentrum, Abt. Onkologische Diagnostik und Therapie, Heidelberg, Deutschland

⁶Klinikum Nürnberg Nord, Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie, Nürnberg, Deutschland

1 EINFÜHRUNG

Das EU-Projekt MTM hat sich zum Ziel gesetzt, eine neue Generation eines mobilen Multimedia-Terminals (MTM) zu entwickeln. Es ähnelt äußerlich heutigen persönlichen digitalen Assistenten (PDAs), bietet zusätzlich Funktionen eines Mobiltelefons und hat darüber hinaus wesentliche neue Eigenschaften [1]. Das Gerät wird über eine UMTS-Schnittstelle verfügen, die es erlaubt, mit einer Bandbreite bis zu 2 Mbit/s drahtlos Daten zu übertragen [3]. Diese Technologie wird vermutlich bis Ende 2001 weltweit standardisiert und verfügbar sein. Mit dieser hohen Bandbreite lassen sich im Vergleich zur heutigen GSM-Technologie, die nur 9,6 kbit/s erlaubt, deutlich andere Anwendungsszenarien realisieren. Weitere Kennzeichen des MTM-PDAs werden sein: Farbdisplay, Mikrofon, Lautsprecher und Videokamera für Bildtelefonie, Spracherkennungssoftware zur Steuerung des Gerätes und seiner Anwendungssoftware, Texterkennung und vieles mehr.

Im Rahmen des Projektes, das von Anfang 2000 bis Ende 2001 läuft, werden Beispielanwendungen für die neue Plattform in verschiedenen Bereichen realisiert: Multimedia-Anwendungen, insbesondere für das Fernstudium (Tele Learning), ein interaktiver Touristenführer und ein Teleradiologie-System. Zu Beginn des Projektes wurden für diese Anwendungsbereiche Fragebögen entwickelt, um von zukünftigen Anwendern deren Anforderungen an ein solches Gerät und mögliche Einsatzzwecke zu erfahren. Diese Umfrage fand in den Ländern Schweden,

Frankreich, Deutschland, Italien und Spanien statt.

Zum allgemeinen Einsatz von mobilen Kommunikations- und Informationsgeräten im klinischen Bereich liegen bereits Daten vor [5]. Daher stellt dieser Artikel die teilweise sehr speziellen Anforderungen an persönliche digitale Assistenten (PDAs) für den Einsatz im radiologischen Umfeld in den Vordergrund. Die vorgestellten Daten wurden in einer Fragebogenaktion bei radiologischen Anwendern in Spanien und Deutschland gewonnen.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1 Datenerhebung

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Daten wurden mit konventionellen Fragebögen erfasst, die von den Anwendern handschriftlich ausgefüllt wurden. Der Fragebogen war in englischer Sprache geschrieben. Alle Benutzer haben die Fragebögen ohne Unterstützung ausgefüllt.

2.1.1 Eingabefehler

Die Bandbreite des Fragebogens war sehr groß und reichte von technischen Fragen bis zu medizinischen Details. Beim Ausfüllen von Formularen werden immer Fehler gemacht. In diesem Fall lag die globale Fehlerrate unter 1% und die Rate für ausgelassene Fragen unter 2%.

2.2 Benutzergruppe

Die Fragebögen wurden an Ärzte in Spanien und Deutschland ausgeteilt. Alle Ärzte

sind in Abteilungen beschäftigt, in denen mit medizinischen Bildern gearbeitet wird. Die meisten kamen aus der Radiologie.

Insgesamt haben 40 Ärzte einen Fragebogen ausgefüllt. Die Benutzergruppe repräsentiert über 400 Jahre Erfahrung im jeweiligen Arbeitsgebiet.

2.3 Design des Fragebogens

Der Fragebogen bestand aus einem allgemeinen Teil, dem spezifische Teile für verschiedene Anwendungsdomänen (Tourismus, Medizin,...) folgten. Der erste Teil enthielt Fragen über physikalische Eigenschaften, Display, Eingabegeräte (Sprache, Handschrifterkennung, stiftbasierte Eingabe etc.) und über Peripheriegeräte.

Abb.1: Die beiden verwendeten Beurteilungsskalen (der Fragebogen war englisch)

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1. Essential (E) | <input type="checkbox"/> |
| 2. Very Important (VI) | <input type="checkbox"/> |
| 3. Desirable (D) | <input type="checkbox"/> |
| 4. Unimportant (U) | <input type="checkbox"/> |

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1. Very Certain (VC) | <input type="checkbox"/> |
| 2. Certain (C) | <input type="checkbox"/> |
| 3. Uncertain (U) | <input type="checkbox"/> |
| 4. Very Uncertain (VU) | <input type="checkbox"/> |

Die Benutzer hatten, wo immer möglich, ihre Antwort auf einer Bewertungsskala einzutragen (s. Abb. 1), um detaillierte Analysen der Antworten zu ermöglichen. Die Skala war so ausgewählt, dass es keine unvoreingenommene Mitte gab (s. Beispiel in Abb. 2).

Would handwriting recognition be required?

- Yes
- No
- Don't know

How important do you consider this requirement?

- Essential
- Very Important
- Desirable
- Unimportant

Abbildung 2

Frage 34 des medizinischen Teils

2.4 Medizinische Anwendungsszenarien

Der medizinische Teil des Fragebogens bestand aus fünf Teilen mit verschiedenen medizinischen Anwendungsszenarien.

Jedes Szenario bestand aus einer realistischen Beschreibung, wie der PDA darin zur Lösung spezifischer Probleme benutzt werden könnte. Zunächst wurde die medizinische Problemstellung beschrieben, anschließend der Arbeitsablauf zur Lösung des Problems. Zuletzt folgten Fragen, die sich auf die beschriebene Problemlösung bezogen.

Es wurden fünf Szenarien im Hinblick auf deren medizinische Relevanz ausgewählt. Ein weiteres Kriterium war, ein breites Spektrum von Fragestellungen und technischen Lösungen zu untersuchen.

Der Grund für den Szenarien basierten Ansatz war, dass damit detailliertere Fragen möglich sind und die Befragten trotzdem den Kontext der Frage verstehen. Außerdem ist es über diesen Weg möglich, verschiedene Lösungen und Optionen gegenüber zu stellen. Die unten beschriebenen Szenarien wurden so gestaltet, dass sie in diesen Kontext passten.

2.4.1 Neurochirurgischer Notfall

Ein Arzt hat einen Patienten mit einer Kopfverletzung und benötigt die Hilfe eines Neurochirurgen zur Abklärung. Er baut eine Verbindung zum PDA des Experten, in diesem Fall des Neurochirurgen, auf und übermittelt ausgewählte relevante Bilder (z.B. CT). Der Neurochirurg erhält einen akustischen Alarm, der ihm anzeigt, dass er eine Nachricht erhalten hat. Über eine Sprachverbindung kann er sofort entscheiden, ob weitere Bilder übertragen werden müssen. Nachdem das weitere Vorgehen besprochen

wurde, kann der Experte mündlich seinen Rat übermitteln und optional in den Bildern etwas einzeichnen, um somit Hinweise für weitere therapeutische Maßnahmen zu geben.

2.4.2 Zugriff auf Patientendaten am Krankenbett

Während der Visite läuft eine Gruppe von Ärzten (z.B. Chefarzt, Oberarzt, Studenten, Krankenschwestern) von Krankenbett zu Krankenbett, um den jeweiligen Status der Patienten und weitere Maßnahmen zu besprechen. Hierzu werden Patientendaten benötigt, wie z. B. CT- oder MR-Bilder. Heutzutage müssen diese Daten (z. B. Röntgenfilme) vorbereitet und während der Visite mitgeführt werden. Gleichzeitig fehlen in den Krankenzimmern Lichtkästen, um die Bilder in geeigneter Weise darzustellen.

Der PDA ist mit einem Barcode-Lesegerät ausgestattet, über das am Bett der richtige Patient identifiziert werden kann. Wenn die Gruppe den Raum betritt, wird der Barcode des Patienten gescannt, und die Anwendung auf dem PDA ruft automatisch die zugehörigen Patientendaten auf. Der PDA kommuniziert mit verschiedenen Informationssystemen im Krankenhaus (z.B. KIS, PACS, Labordaten) über ein drahtloses lokales Rechnernetzwerk. Die Gruppe kann somit die zur Verfügung stehenden Anwendungen durch eine webbasierte Oberfläche aufrufen und zum Beispiel die 10 befundrelevanten Bilder der letzten CT-Untersuchung darstellen.

2.4.3 Verbesserte Kommunikation mit dem Oberarzt/Chefarzt/Experten

Chefarzte und Oberärzte sind nicht immer verfügbar, wenn ein Assistenzarzt deren Hilfe benötigt. Beispielsweise kann der Oberarzt zu Hause sein, und der Assistent ist im Nachtdienst in der Klinik, oder der Neurochirurg befindet sich in einer anderen Klinik, oder ein benötigter Spezialist sitzt gerade in einer Besprechung.

In diesem Fall wird der PDA anstelle eines konventionellen Rufsystems (Piepser, Pager) im Krankenhaus eingesetzt. Der Assistent kann schriftliche Nachrichten (wie E-Mails) mit angehängten Bildern verschicken. Der erfahrene Experte kann die Bilder auf dem PDA anzeigen und in der Telekonferenz mit dem Assistenten synchron darstellen, analysieren und Fragen direkt beantworten.

- Der Oberarzt kann im Hintergrunddienst zu Hause (oder auch an anderen Orten) den Assistenten vor Ort unterstützen. Die Bilder werden drahtlos übermittelt, und der Empfänger kann so schwierige Fragestellungen sehr schnell und effizient beantworten, über weitere diagnostische oder therapeutische Maßnahmen entscheiden oder aufgrund des gesehenen Bildmaterials doch sofort in die Klinik fahren.
- Der Neurochirurg im Hintergrunddienst kann direkt entscheiden, ob ein Patient sofort operiert werden muss oder konventionell behandelt werden kann.
- Der Experte für ein bestimmtes radiologisches Spezialgebiet kann Hinweise zu bestimmten Untersuchungsprozeduren und/oder Befunden geben, während er nicht im Haus ist.

2.4.4 Radiologe mit der Modalität "an der langen Leine"

In klinischen Umgebungen ist es sehr häufig notwendig, dass ein erfahrener Arzt an die Modalität kommen muss, um den Fortschritt von bestimmten Untersuchungen zu kontrollieren. Dies ist z.B. notwendig, um unnötige Strahlenbelastungen des Patienten zu verhindern.

Mit dem in den PDA integrierten Telefon kann der Experte, egal ob er sich innerhalb oder außerhalb der Abteilung befindet, mit dem technischen Personal während der Untersuchung sprechen und gleichzeitig die ständig gepufferten, aktuellen Bilder der laufenden Untersuchungen auf dem Bildschirm ansehen. Falls der Experte mehrere bildgebende Modalitäten betreut, kann er über eine schnelle Selektion zwischen diesen hin- und herschalten.

2.4.5 Zugang zum Spezialisten für funktionale Magnetresonanztomographie

Fortschrittliche MR-Zentren sind mit modernen Tomographen ausgestattet, die auch funktionale Untersuchungen erlauben. Unter diesem Namen werden hier MR-Spektroskopie, kardiologische und funktionale Gehirn-Untersuchungen zusammengefasst. Diese spezialisierten Methoden erfordern die Einbeziehung von Experten aus anderen Fachgebieten, z.B. einen Biochemiker für MR-Spektroskopie (MRS), einen Kardiologen oder einen Neurologen für funktio-

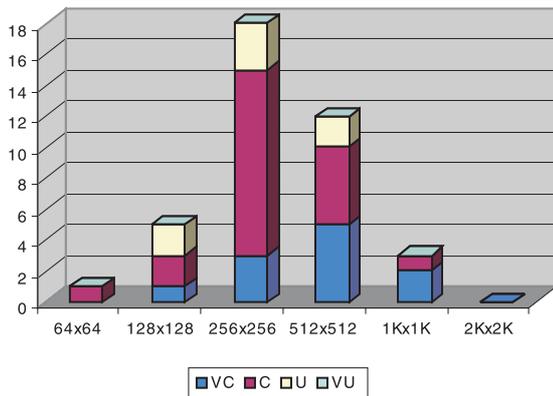


Abbildung 3
Was ist die kleinste Originalbildgröße, die Sie mit dem MTM gern verarbeiten würden?

nale MR-Untersuchungen (fMRI). Diese Notwendigkeit ist ein Grund für die langsame Verbreitung dieser Methoden, da die meisten MR-Zentren nicht in der Lage sind, Experten hierfür zu beschäftigen.

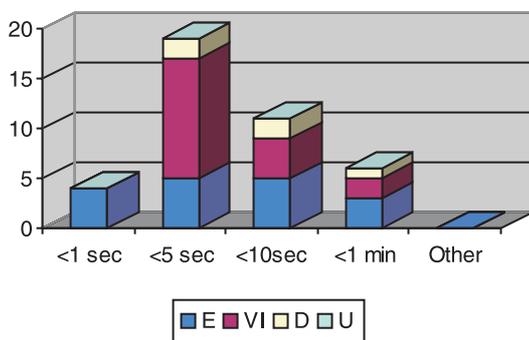


Abbildung 4
Was ist die längste akzeptable Wartezeit auf ein Bild mit einer Größe von 1 MB?

Wenn es die Möglichkeit gäbe, Experten aus Referenzzentren im Bedarfsfall über den PDA hinzuzuziehen, könnte man sich vorstellen, dass sich dann funktionale Untersuchungen weiter verbreiten würden. Dies wäre sowohl für den Patienten als auch für die MR-Einheit von Vorteil. In den meisten Fällen wird sich die notwendige Unterstützung auf der Protokollebene abspielen. Der Experte wird in der Regel nur während der Untersuchung selbst benötigt, um zu gewährleisten, dass die Ergebnisse nicht durch Artefakte beeinträchtigt werden und von diagnostischer Qualität sind. In anderen Fällen ist der Rat eines Referenzentrums für die

Validierung von Ergebnissen denkbar.

3 ERGEBNISSE

Die Einzelergebnisse des Fragebogens sind vertraulich und Eigentum des MTM-Projektes. Daher werden wir hier nur die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung veröffentlichen.

3.1 Kommunikationskapazität

Die wichtigste Idee hinter dem MTM-PDA ist, dass man ihn bequem herumtragen kann, und dass er mit hoher Bandbreite drahtlos kommuniziert. Dies impliziert, dass alle Daten außerhalb des PDAs gespeichert sind. Beschränkungen in der Speicherkapazität in solch kleinen Geräten bedeuten, dass benötigte Daten dann geladen werden, wenn sie benötigt werden. Daher ist Geschwindigkeit bei der Datenübertragung ein sehr wichtiges Merkmal.

Die Benutzer haben extrem hohe Anforderungen an eine schnelle Kommunikation. Ein typisches Bild hat 12 Bit Grauwerttiefe, die in 16 Bit gespeichert werden. Die räumliche Auflösung der Bilder liegt typischerweise bei 256² und 512² Pixeln. Das bedeutet, dass die Bilddateien 130 kB bis 500 kB groß sein werden.

Die von den Benutzern gewünschte Datenrate liegt bei etwa 200 kB/s. Die maximale UMTS-Transferrate ist 384 kbit/s (48 kB/s). Das bedeutet, dass die Übertragung eines Bildes etwa 11 Sekunden dauern wird. Für einige Anwendungsszenarien ist diese Datenrate sicher nicht ausreichend. Daher wird der PDA zusätzlich mit einem drahtlosen Ethernet ausgestattet werden müssen, um den hohen Anforderungen an hausinterne Anwendungen gerecht zu werden [4]. Dieses Protokoll erlaubt eine Steigerung auf bis zu 11 Mbit/s.

3.2 Display

Alle bildbezogenen Merkmale, wie große Bildmatrizen, große Datenmengen, hohe Auflösung und viele Grauwerte werden betont.

Die Benutzer möchten das Gewicht und die Größe des PDAs nicht auf Kosten der Bildschirmgröße reduzieren.

3.3 Prozessorleistung

Wegen häufig anzuwendender Berechnungen der Grauwertfensterung (Level/Windowing) werden sehr hohe Ansprüche an die Prozessorleistung gestellt. Eine Grauwertfensterung sollte in Sekunden erfolgen.

3.4 Software-Plattform

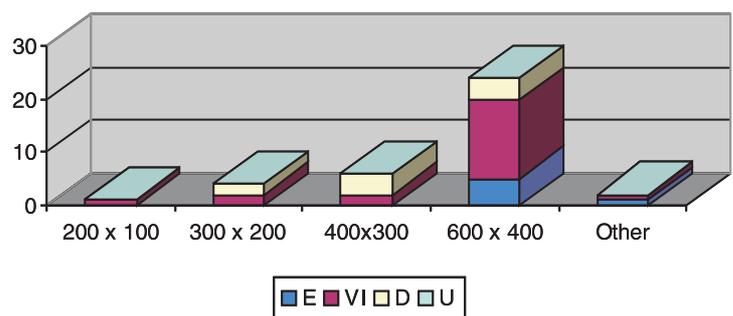
Die Benutzer geben an, dass sie eine offene Softwareumgebung einer proprietären Lösung vorziehen. Viele Benutzer sind sogar an der Entwicklung eigener Anwendungen in der Zukunft interessiert!

Fast alle Anwender würden die Programme auch auf stationären Computern laufen lassen wollen.

Wir glauben, dass der Grund für die Betonung einer offenen Plattform darin liegt, dass sich die Benutzer zunehmend daran gewöhnt haben, nicht nur einen Computer, sondern auch komplexe Softwarepakete anzuwenden. Die Autoren glauben, dass dies eine generelle Reife im Umgang mit Computern ausdrückt.

Viele Abteilungen haben Erfahrung in der Feinabstimmung und Anpassung von Software an ihre eigenen Bedürfnisse. Daher ist der Schritt zur Entwicklung eigener Software kein großer Schritt mehr.

Abbildung 5
Was wäre die ideale Bildschirmgröße? (In Pixeln, Breite x Höhe)



Ausblicke, Vorschläge und Szenarien

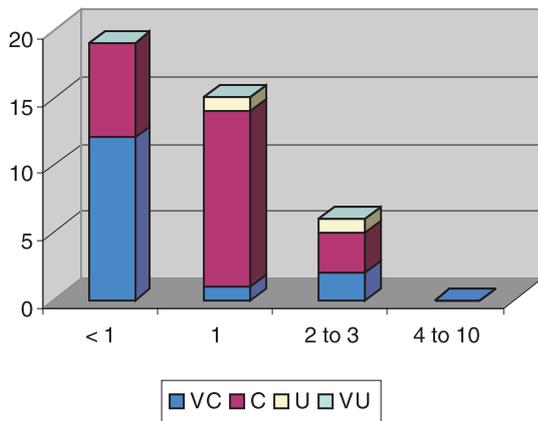


Abbildung 6
Wie schnell sollte der PDA bei der Änderung der Level/Window-Einstellung für das aktuelle Bild sein (in Sekunden)?

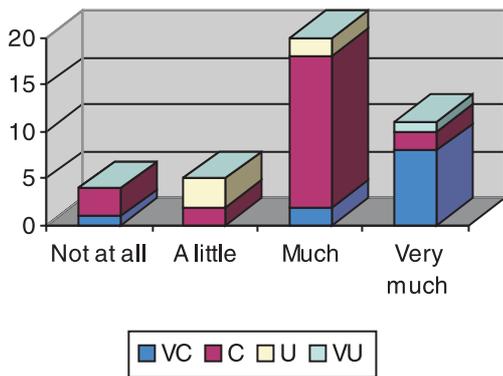


Abbildung 7
Wie sehr würde sich die Benutzbarkeit des Gerätes verbessern, wenn Sie oder eine technisch versierte Person in der Lage wären, die eigenen Programme auf dem PDA laufen zu lassen?

Wir sehen Hinweise, dass die Anwender den PDA als ein generelles Hilfsmittel und nicht als Basis für eine feste, statische Anwendung betrachten. Dies kann direkt abgelesen werden, kommt aber auch in den Antworten aus dem allgemeinen Teil des Fragebogens zum Ausdruck. So wünschen sich viele Befragte, dass ihre selbst entwickelten Programme auf dem PDA laufen können.

Mehr als 75% der medizinischen Anwender würden eine offene Entwicklungsumgebung begrüßen. Ein noch höherer Prozentsatz hat ausgesagt, dass nicht nur das MTM-Konsortium Programme für den PDA entwickeln sollte. Ungefähr die Hälfte der Befragten gab an, dass sie selbst gern Programme schreiben würden! Fast alle Anwender waren der Meinung, dass die Anwendun-

gen ebenfalls auf einem ganz normalen Computer laufen sollten. Wir glauben, dass die Forderung nach Offenheit eines der wichtigsten Ergebnisse dieser Fragebogenaktion ist.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Man kann klar erkennen, dass die zukünftigen medizinischen, bzw. radiologischen Benutzer in allen Aspekten sehr hohe Erwartungen an den MTM-PDA haben. Auf die Frage nach der akzeptablen Transferdauer oder der Performance von Funktionen gab eine Mehrheit an, dass nur die beste Option akzeptabel sei. Dies kann auf verschiedene Weise interpretiert werden: Entweder haben die Benutzer kein Gefühl für realistische Lösungen oder die Entwickler des Systems müssen noch viel mehr an der Leistungsfähigkeit des Systems arbeiten, bzw. die zukünftigen Anwender werden nicht bekommen, was sie erwarten. Eine andere Interpretation ist, dass die klinischen Anforderungen tatsächlich sehr hoch sind, und dass sich das MTM-Konsortium sehr anstrengen muss, um diesen gerecht zu werden. Auf jeden Fall ist es eine große Herausforderung, diesen Anforderungen gerecht zu werden.

In der Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse des medizinischen Teils kann man folgendes erkennen:

4.1 Bildgröße

Die kleinste Bildgröße beträgt 256² Bildpunkte. Die Anwender geben an, dass Bildmatrizen im Bereich von 256² bis zu 512² die häufigsten sind. 12 Bit Grauwerttiefe ist üblich. Unkomprimiert entspricht das 524 kB pro Bild, da die genutzten 12 Bit in 16 Bit abgelegt werden.

4.2 Bildschirm

Farbe wird überhaupt nicht gefordert. Statt dessen werden viele Grauwerte benötigt. Die Anwender möchten definitiv den größten möglichen Bildschirm und würden dafür sogar mehr Gewicht in Kauf nehmen. Es fällt auf, dass die Benutzer im Vergleich zu dem, was auf dem

Markt verfügbar ist, sehr hohe Erwartungen an die Bildschirmgröße und Auflösung haben.

4.3 Grauwertfensterung (Level/Window)

Die Funktion der Grauwertfensterung ist unabdingbar. Ein Bild zu fenstern sollte nicht länger als eine Sekunde dauern.

4.4 Kompression

Verlustbehaftete Bildkompression mit geringen visuellen Artefakten wird toleriert.

4.5 Kommunikation

Ein 12-Bit-Bild mit einer Größe von 512² Pixeln sollte innerhalb von 10, nie über 20 Sekunden, übertragen werden. Es werden extrem hohe Anforderungen an den Bildschirm und an die Übertragungsgeschwindigkeit des Gerätes gestellt. Tatsächlich erwarten die Anwendernicht, dass das MTM in dieser Beziehung schlechter ist als ein "normaler Computer".

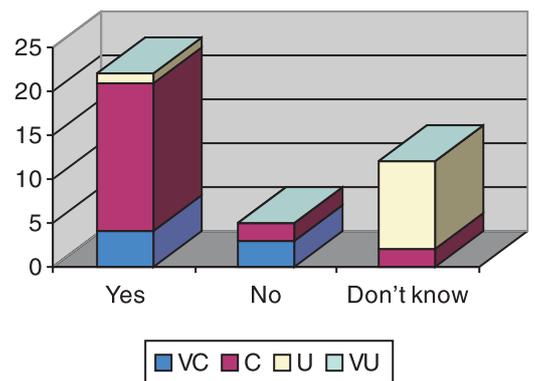
4.6 Anwendungsszenarien

Das neurochirurgische Notfallszenario wurde als das wichtigste in den angebotenen Szenarien bewertet, gefolgt von der verbesserten Kommunikation mit dem Oberarzt/Chefarzt/Experten.

4.7 Software-Entwicklung

Eine offene Lösung wird stark betont. Die medizinischen Benutzer geben an, dass sie gerne eigene Anwendungen entwickeln würden, die ebenfalls auf herkömmlichen Computern laufen sollten.

Abbildung 8
Würde es Ihnen gefallen, wenn Sie Ihre eigene Software für den PDA entwickeln könnten?



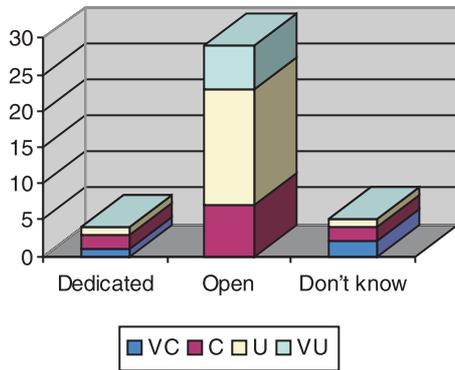


Abbildung 9
Stellen Sie sich vor, Sie wären in der Lage, selbst Programme für Ihren PDA zu schreiben. Wäre es akzeptabel, eine dedizierte Entwicklungsumgebung für etwa 500 Euro zu kaufen, oder möchten Sie lieber mit einer offenen Umgebung arbeiten, die auch auf Ihrem Desktop-Computer laufen würde?

4.8 Dateneingabe

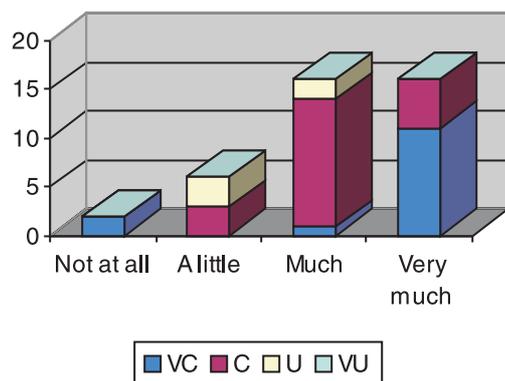
Der Stift wird als Eingabemedium bevorzugt. Eine Tastatur wird nur für längere Eingaben benötigt.

5 WEITERE AUSWERTUNGEN

Wir haben in die Richtung von neuen technischen Fortschritten, die die extreme Leistungsfähigkeit von heutigen Standards ermöglicht, geplant. Aber dies mag nicht unbedingt die einzige mögliche Richtung sein.

Es wäre nützlich herauszufinden, was die minimalen Anforderungen an die Funktio-

Abbildung 10
Wie gefällt Ihnen die Idee, dass MTM eine offene Plattform ist und Entwickler auf der ganzen Welt dafür Programme schreiben werden?



nalität sind. So kann zum Beispiel jede Hilfe, die Leben rettet, natürlich wertvoll und nützlich sein. Aber die Frage ist, mit welchem niedrigsten Grad an technischer Unterstützung dies erreicht werden kann. Der Zusammenhang zwischen Anforderungen und dem niedrigsten akzeptablen oder hilfreichen Niveau ist nicht klar.

6 DANKSAGUNG

Wir danken allen medizinischen Projektpartnern für ihre Unterstützung.

Diese Arbeit wurde gefördert von der Europäischen Union im Rahmen des MTM-Projektes (IST 1999-11100 im Förderprogramm Information Society Technologies IST)

7 LITERATUR

[1] Multimedia Terminal Mobile (MTM). Project id: MTM IST-1999-11100, [\[http://www.cordis.lu/ist/projects/99-11100.htm\]](http://www.cordis.lu/ist/projects/99-11100.htm).

[2] Walsh PJ, Patric J. Wireless technology transforms healthcare delivery and tracking. MD Computing vol. 17, no. 2, 2000.

[3] Digital cellular telecommunications system; Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); 3rd Generation mobile system Release 1999 Specifications. The European Telecommunications Standards Institute (ETSI), [\[http://www.etsi.org/\]](http://www.etsi.org/).

[4] Wireless Ethernet, Telecommunications and information exchange between systems – local and metropolitan area networks, [\[http://standards.ieee.org/catalog/IEEE802.11.html\]](http://standards.ieee.org/catalog/IEEE802.11.html).

[5] Ammenwerth E, Buchauer A, Bludau B, Haux R. Mobile information and communication tools in the hospital. International Journal of Medical Informatics 57 (2000), 21-40