

# МУЛТИМОДАЛНО ПРЕДСТАВЯНЕ НА РЕЗУЛТАТИ ОТ ИНЖЕНЕРНИ (CAE) АНАЛИЗИ В СРЕДА НА ВИРТУАЛНА РЕАЛНОСТ

## MULTIMODAL PRESENTATION OF ENGINEERING (CAE) ANALYSIS RESULTS IN VIRTUAL REALITY ENVIRONMENT

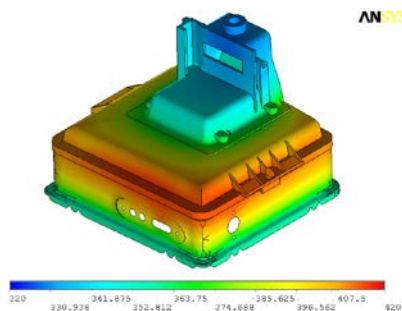
гл. ас. Бъчваров, А. Г., проф. д-р Малешков, С. Б., гл. ас. д-р Чотров, Д. И.  
Лаборатория по Виртуална реалност, Технически университет - София, България  
a\_bachvarov@tu-sofia.bg

**Abstract:** In this article we present our concept for utilization of multimodal presentation of implicit object properties (like radiation, roughness, stress, temperature, etc.) for faster and better interpretation of engineering analysis results. The paper describes methods for binding different sensorial stimuli to represent objects' implicit properties and their exploration in virtual environment. It also discusses the results from the conducted usability study confirming the applicability of the proposed methods.

**Keywords:** MULTIMODAL PRESENTATION, ENGINEERING ANALYSIS RESULTS, CAE, VIRTUAL REALITY

### 1. Увод

Съвременните системи за компютърен инженерен анализ (CAE), използвани за симулиране, валидиране и оптимизиране на изделия са важен инструмент, който помага на конструкторите при изпълнение на техните рутинни дейности. Голям брой различни софтуерни пакети за CAE се използват широко във всички клонове на промишлеността. Модулите за числено решение в CAE пакетите генерират големи обеми от данни, които изискват специална допълнителна обработка (пост-процесинг), за да могат да бъдат разбрани и използвани от потребителите. Обикновено, представянето на тези данни става чрез визуализиране. Най-често използваният в практиката метод за визуално представяне на свойствата на симулирания обект е чрез промяна на цвета и осветяването на неговите елементи. Това става с цветни кодове (фиг. 1), които представляват скали от цветове, в които всеки нюанс или наситеност на цвета се свързва със съответна стойност на представяната величина. Това позволява на потребителя бързо и лесно да се ориентира за присъствието или разпределението на изследваното свойство в тримерното пространство.



**Фиг. 1** Използване на конвенционален цветен код за представяне на температурно разпределение.

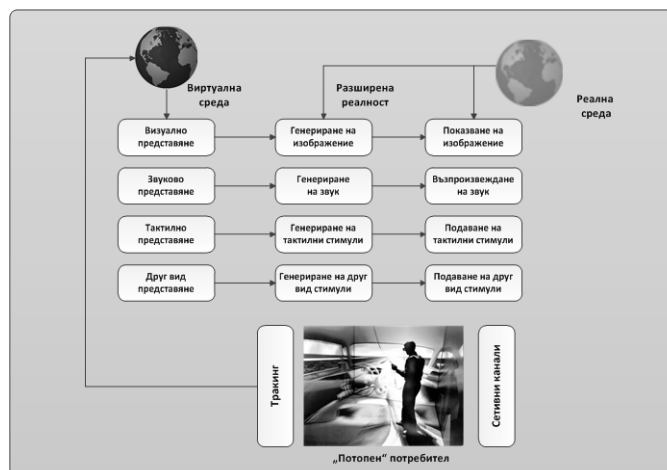
Този начин на представяне на данни е удобен и технически лесен за реализация и се използва традиционно в софтуерните пакети, но когато анализираният модел са с висока степен на комплексност или когато се налага едновременното разглеждане на няколко свойства обичайното визуално представяне на данните не е достатъчно за получаване на необходимата информация и взимане на правилното инженерно решение. Виртуалната реалност (VR) и свързаните с нея технологии могат да предложат решение на така формулирания проблем.

### 2. VR и мултимодално представяне на CAE данни

Една от характеристиките на VR е способността ѝ да „потапя“ потребителите в изкуствено създадена виртуална среда. Това се случва чрез мултимодално представяне на

виртуалните обекти, изграждащи тази среда. Тук под мултимодално се разбира използването на няколко канала за възприятие (зрение, слух, осезание).

Първичният източник на представа за характера и свойствата на виртуалните обекти е комбинация на няколко презентационни елемента, съответстващи пряко на отделните модалности, използвани в системата за виртуална реалност (фиг. 2).



**Фиг. 2** Представяне на обекти във виртуална среда чрез разделянето им на презентационни елементи с различна модалност.

Това гарантира естествено възприемане от потребителя, т.е. взаимодействието с виртуалните обекти се извършва от него по познат начин, аналогичен на този, с който го прави в реалния свят. Отделните канали на перцепция се характеризират със свои специфични функции и характеристики, които ги правят уникални и ограничават възможността за тяхната смяна. Информацията от отделните сетивни канали се преработва по различен начин, а отделните презентационни елементи се комбинират и припокриват (комплементарност и редундантност), което означава, че използването на мултимодалност води и до значително разширяване и интензифициране на предаването в рамките на взаимодействието между потребителя и обекта информационно съдържание [Morris-2006]. Допълнително предимство при използването на мултимодалното представяне е възможността за двустранно взаимодействие с потребителя. Представената информация вече не е пасивна, а може да също да оказва влияние върху потребителя.

Създаването на мултимодално представяне на обектите във виртуалната среда се разделя условно на две фази: (i) фаза на създаване и (ii) фаза на реализация.

В първата фаза се прави избор на начина, по-който виртуални обекти ще изглеждат, звучат и ще се усещат от

наблюдателя. Във втората фаза, избраният начин на представяне на обектите се реализира чрез хардуерна и софтуерна система за възпроизвеждане на виртуална реалност. Фазите са свързани тясно помежду си, а качеството на получения резултат съществено зависи от специфичните технически характеристики на използваните хардуерни устройства и софтуер.

Изборът на подходяща форма на представяне зависи в голяма степен от целта на приложението и характера на свойствата на представените в средата виртуални обекти. В определени случаи трябва да бъде осигурена възможност за точно възприемане на количествена информация от данни, което налага потребителя да може да извлича числови стойности на базата на възприеманото от него сетивното изображение. Това може да стане пряко (чрез числови таблици) или косвено (чрез разнообразни методи за изобразяване на данни през отделните сетивни канали). В други случаи представяната информация има качествен характер или се налага комбиниране на представянето на количествени и качествени данни.

На основата на комбиниране на препоръките в [Sherm-05], [Keim-02] и [Kim-05] беше развит общ практически подход за представяне на данните от инженерни анализи във виртуална среда, включващ 4 етапа:

1. Избор на свойствата за представяне;
2. Избор на презентационния елемент (ефект) на виртуалната среда, който ще предава информация за това свойство;
3. Съпоставяне на изобразяваното свойството с избрания ефект във виртуалната среда („mapping“);
4. Представяне.

Броят на свойствата на симулираните обекти информация, за които се съдържа в данните от инженерния анализ, може да бъде голям и зависи от специфичните нужди на извършвания анализ. Едновременното представяне на твърде много свойства може да доведе до трудности при възприемането и когнитивно претоварване.

Ефектите за представяне на свойствата във виртуалната среда са постоянни. Тяхното съществуване се предопределя от хардуера и софтуера на използваното решение за виртуална реалност. Съответно, свойствата на виртуалната среда ограничават свойствата на съществуващите в нея виртуални обекти. Това ограничение може да бъде преодоляно чрез използването на така нареченото „сетивно заместване“ („sensory substitution“). Чрез него даден ефект, използван за представяне на определено свойство на виртуалния обект, се замества с друг, но от друга модалност. Този подход се използва и когато дадено свойство на виртуалния обект не може да бъде представено във виртуалната среда при приемливо ниво на разходите или безопасността [Sherm-05].

Дефинирането на съответствието между свойството и избрания за неговото представяне параметър на виртуалната среда е важно за постигане на добри резултати по конкретното приложение. При него се прилагат няколко принципа: представяният ефект трябва да бъде възможно най-близък до типа на свойството, което ще представя [Wexel-91]; трябва да се осигури съответствие между необходимостта от разграничаване на свойството и разграничителната способност на избрания за неговото представяне ефект. Свойството, което трябва да бъде представено, се класифицира по отношение на интервала от стойности, които може да приема и критичното (значимо) изменение на тези стойности [SprJe-93].

Самата технология на представяне на свойствата на обектите от данните от инженерни анализи във виртуалната среда е ключов елемент за начина и качеството, с което потребителят възприема виртуалната среда. Сетивната система на човека разполага с пет канала, които осигуряват информация на мозъка. За целите на представяне на данни от

инженерни анализи във виртуалната реалност обикновено 3 от тях (зрение, слух, осезание) приемат изкуствено синтезирани от компютърната система стимули, които заместват стимулите от физическата реалност. Според [Sherm-05] по-големият брой на използваните сетивни канали води до подобрене на усещането за „потаяне“ и усещането за присъствие.

Таблица 1 обобщава информацията в [SprJe-93], [Sherm-05], [Kim-05], [Sutcli-02] и представя опит за обща таксономия на ефектите във виртуалната среда, които могат да бъдат използвани за представяне на свойствата на обектите, получени от данни от инженерни анализи за трите споменати основни сетивни възприятия (визуално, слухово и осезателно). Свойствата са подредени по азбучен ред и са допълнени с информация за типа на свойствата според класификацията на [Wexel-91]. Представеният списък е непълен и подлежи на разширение и редактиране.

**Таблица 1:** Примерна таксономия на параметрите (свойствата) на виртуалната среда и на включените в нея виртуални обекти.

Визуално възприятие		Ефект
Параметри на обектите (свойства)	<==>	Наситеност Прозрачност Размер Разположение Текстура Форма Цветен тон Яркост
Слухово възприятие		Ефект
Параметри на обектите (свойства)	<==>	Височина на тона Продължителност Разположение Сила на звука Темпо Хармония Чистота
Тактилно възприятие		Ефект
Параметри на обектите (свойства)	<==>	Вибрация Размер Разположение Твърдост Тегло Текстура Температура Форма

### 3. Методика и програмна реализация

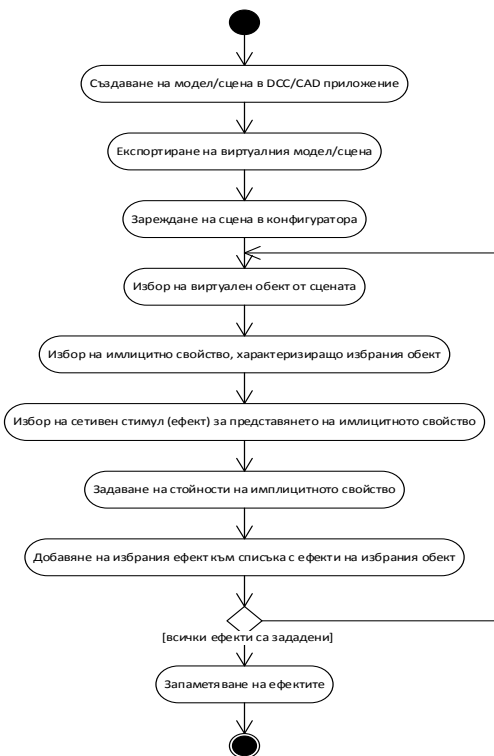
Приложени са два различни подхода за представяне на САЕ данни в среда на виртуална реалност: (i) създаване на специализиран софтуерен модул като част от системата за виртуална реалност; (ii) разширяване на функционалността на стандартните софтуерни пакети за виртуална реалност.

Първият подход включва добавянето на няколко допълнителни компонента към пакета за разработка на софтуерни приложения SceniX Scene Graph на NVIDIA. Вторият подход използва предимствата на функционалността на предлаганите на пазара програмни пакети за реализация на виртуална реалност и вградените им инструменти.

За да бъдат представяни данните от инженерния анализ в среда на виртуална реалност трябва да бъдат изпълнени няколко стъпки, показани в диаграмата на действията (фиг. 3). CAD моделът използван в САЕ приложението трябва да бъде експортиран в подходящ файлов формат, поддържан от системата за виртуална реалност (например 3DS, VRML, COLLADA, OBJ, и т.н.). Следва задаването на свойствата към модела, които трябва да бъдат представени. За тази цел е разработен конфигуриращ модул, който позволява на потребителя да импортира модела и да зададе свойствата към него. Всъщност, този процес представлява „налагане“ (установяване на съответствие) на стойностите на съответното свойство, информация за които се съдържа в САЕ приложението, към отделните точки на виртуалния обект („мапинг“). Следва задаването на презентационните елементи (ефектите) към отделните свойства на обекта в дървото на сцената. Като

резултат от горната процедура потребителят получава мултимодална обратна връзка в реално време за избраните свойства на изследвания CAD модел в среда на виртуална реалност. Конфигураторът генерира специален дескрипторен файл, който съдържа информация за зададените свойства на обектите. За да бъде разгледана и/или променена създадената в среда на виртуална реалност сцена, изградена от пространствено и темпорално организирани обекти, се стартира приложението за виртуална реалност. Направени са имплементации за два основни типа хардуерни конфигурации:

- за десктоп компютър или мобилно устройство и
- за компютърен клъстер за имерсивна прожекционна система.



Фиг. 3 Обобщен алгоритъм за задаване и промяна на неявни свойства на виртуални обекти.

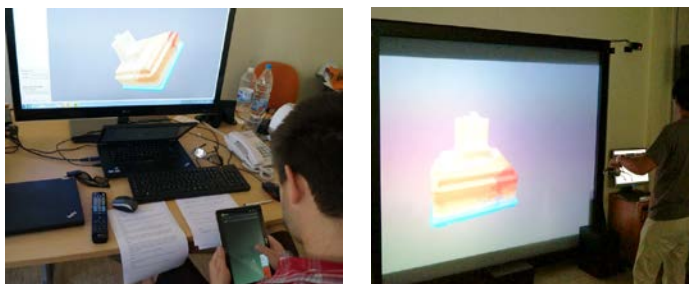
#### 4. Резултати и дискусия

[Burdea-2003] разглежда виртуалната реалност като високо усъвършенстван потребителски интерфейс. На базата на това определение и поради липса на литературни сведения за специфични методи за верификация на начините на взаимодействие на потребителя с обектите от виртуалната среда за целите на изследването беше прието използване на модифициран вариант на обичайната за потребителските интерфейси Проверка на използваемостта (Usability Testing).

Избран е методът Евристична оценка (Heuristic evaluation), предложен в широко приложение в практиката [Cockton et al.-2003]. Той служи за определяне на проблемите при използване на потребителски интерфейси в ранна фаза на процеса на проектирането им. Евристичната оценка включва участието на малка група респонденти, които оценяват съответствието на интерфейса с определени набори от принципи (известни като евристики), описани подробно в [Nielsen-2005]. Разработеният модифициран вариант за проверка на използваемостта се фокусира върху изследването на пет основни аспекта, обединяващи различни групи евристики (по приетата за използване целите на изследването класификация, предложена в [Weinschenk-2000]): (i) възприемане и (ii) чувствителност на потребителя, (iii) влияние на представянето върху възможността за използване на работната (виртуална) средата, (iv) взаимното влияние между отделните свойства и начините на тяхното представяне и (v)

субективна промяна за потребителя на информационното съдържание на обектите при представяне на данните за техните свойства от CAE данни, [Marc-2006]. Беше изготвен тестов сценарий за извършване на изследването, който използва термо-структурен изчислителен модел на бойлер, показан на фиг. 1. За създаване на изходния CAD модел е използван Creo Parametric, а самата симулация е направена с ANSYS.

Тестовият сценарий включва 7 задачи, които оценяващото лице – респондент трябва да изпълни последователно на две специално оборудвани работни места. Едното работно място е мобилна десктоп система за стереоскопична визуализация, включваща лаптоп, 3D телевизор, таблет и безжични слушалки (фиг. 4-вляво), а второто е система за имерсивна прожекция в мащаб 1:1 (фиг. 5-вдясно).



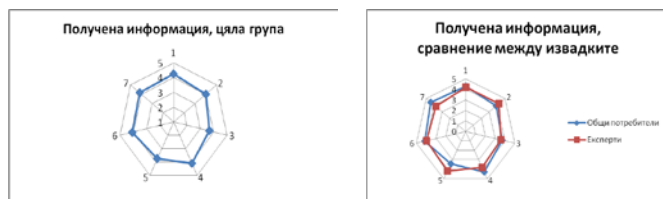
Фиг. 4 Използвани в експериментите мобилна (вляво) и имерсивна (вдясно) системи за виртуална реалност

Самият експеримент за проверка на използваемостта е изпълнен по следния начин: лицето – респондент се запознава с целта на експеримента, получава копие от задачите и започва самостоятелна работа. След прочитане на условието на задачата, лицето я изпълнява и веднага след това попълва специален въпросник, в който отговаря на контролни въпроси, регистриращи неговите субективни усещания от използването на обекти, разширени с допълнителни имплицитни свойства във виртуална среда. За отговорите се използва 5 степенна неутрална скала или се избира между Да/ Не/ Не мога да преценя. След завършване на изпълнението на задачите, респондентът отговаря и на допълнителни въпроси, които регистрират цялостните му впечатления и опит по време на работа. Също така посочва в отворена форма, какво според него трябва да бъде променено и какво му е създавало проблем. Времето, с което разполага за изпълнение на теста е неограничено.

В експеримента за проверка на използваемостта на обекти, допълнени с имплицитни свойства във виртуална среда чрез евристична оценка участваха 12 лица със средна възраст 25,4 години. Подборът е случаен в съответствие с принципите на така наречения и широко използван при проверката на използваемостта метод на коридора (Hallway method), при който се използват не професионални, случайно избрани („взети от коридора“) оценители. За целите на анализа, групата от 12 оценяващи лица се разделя на 2 подгрупи: (i) обикновени потребители и (ii) експерти съставени от съответно 7 и 5 лица.

Резултатите от проведения експеримент показват, че за 75% от оценителите комбинираното използване на цветно и звуково кодиране за представяне на свойствата на обектите е удобно. По отношение на използването на тактилен стимул (вибрация) като модалност за представяне на допълнително имплицитно свойство, 58 % от оценителите намират, че той дава допълнителна информация. Само за 1 респондент това не е така, останалите се колебаят. По-голямата част от колебаещите се са от извадката на експертите. След допълнителен разговор с тях беше установено, че тяхната несигурност се дължи основно на рутинния начин на работа с CAD системи, с който те са свикнали и ограниченото време, през което са имали възможност да използват новия механизъм на взаимодействие. 75% от оценители са на мнение, че представяне на обекта в имерсивна система за виртуална реалност подобрява

възприемането му от потребителя като в извадката на експертите оценката е категорична (100 %) за полезността на този начин на работа. На фиг. 5-вляво е показано средната оценка на групата респонденти, на базата на субективните им впечатления по отношение на информацията за свойствата, която получават при разглеждане на обекта в среда на виртуална реалност, в която се използва комбинация на различни модалности за представяне на имплицитните му свойства.



**Фиг. 5** Средната оценка на оценителите при разглеждане на обекта в среда на виртуална реалност (вляво) и сравнение на резултатите от експертна група и обикновени потребители (вдясно).

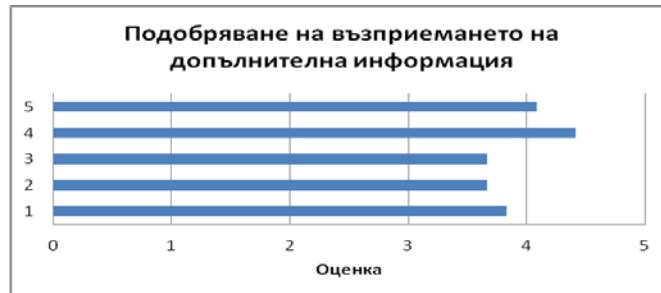
Цифровите означения в диаграмите, показани на Фиг. 5 имат посочения в Таблица 2 смисъл. Там са дадени и усреднените оценки на оценителите за качеството на получаваната информация, заедно със съответните стандартни отклонения.

**Таблица 2:** Усреднена оценка на получената информацията за свойствата на обектите, която възприемат оценителите

Показател	Оценка	Стандартно отклонение
1. Информацията е <b>ясна</b>	4.25	0.59
2. Информацията е <b>логична</b>	4.00	1.15
3. Информацията е <b>еднозначна</b>	3.66	0.84
4. Информацията се възприема по <b>интуитивен начин</b>	4.08	0.86
5. Информацията е <b>непротиворечива</b>	3.75	0.92
6. Информацията е <b>допълваща</b>	4.08	1.18
7. Информацията е <b>важна</b>	4.16	0.79

Ясно се вижда тенденцията респондентите да определят получената информация като ясна, логична, еднозначна, възприемана по интуитивен начин, непротиворечива, допълваща и съществена. Оценките са около 4 с ниско стандартно отклонение. Най-ниска е стойността за показателя еднозначност - 3.66. При допълнителен разговор с участниците в експеримента беше установено, че това се дължи на първоначалното объркване при изпълнение на задачата за комбиниране на цветно и звуково кодиране, без наличие на подробни указания за начина на използване на звуковия код.

Фиг. 5 (дясно) показва сравнение на средната оценката между двете извадки от цялата група оценители. Разлика между експертите и обикновените потребители от 0.5 има само по отношение на еднозначността и важноста на получената допълнителна информация за свойствата на обекта в среда на виртуална реалност. Експертите оценяват по-високо важноста ѝ и са по резервирани по отношение на еднозначността ѝ по посочените по-горе причини. Мнението на оценителите (цялата група) за това, какво подобрява значително представата за свойствата, които носи разглеждания в средата на виртуална реалност обект е обобщено на фиг. 6. От графиката се вижда, че двата елемента, които имат най-висок принос за по-доброто възприятие на свойствата са комбинирането на няколко начина на кодиране (т.е. използването на няколко различни модалности за представяне на свойствата на обекта) и използване на визуализация в реален мащаб (т.е. използване на системата за имерсивна визуализация на виртуална реалност). Освен това и стереоскопичната визуализация и добавянето само на звукови или само на тактилни стимули към конвенционалния начин на представяне имат ползотворен ефект според оценителите.



- Легенда:**
1. Стереоскопичната визуализация
  2. Добавяне на звуково кодиране
  3. Добавяне на тактилни стимули (вибрация)
  4. Комбиниране на няколко начина на кодиране
  5. Визуализиране в мащаб 1:1

**Фиг. 6** Елементи, подобряващи възприемането на свойствата на обекта във виртуална среда, средна оценка на цялата група.

## 5. Заключение

На базата на получените в рамките на изследването на използваемостта резултати може да се направи следното заключение: представянето на данни от САЕ анализи чрез различни модалности в среда на виртуална реалност води до увеличаване на обема и подобряване на възприемането на информацията от потребителя. Потребителите оценяват тази информация като ясна, логична, представена по интуитивен начин, непротиворечива и важна. Възприемането на представените в среда на виртуална реалност данни е свързано с известни първоначални затруднения, които увеличават времето за постигане на поставената цел поради непознаване на конвенциите на използваната скала на стимулите на кодирането за различните ефекти. По тази причина потребителите не смятат в определени случаи допълнително получената информация за еднозначна. Това налага период за запознаване и обучение за използване на новите възможности или конфигуриране на стимулите за отделните модалности според личните предпочитания и специфичните когнитивни ограничения на потребителите. Неприятните усещания, които се срещат при някои от потребителите при продължителен престой във виртуална среда налагат използване на специализирани интерфейсни устройства с подобрени характеристики. Представеното изследване е извършено по изследователски проект, финансиран от ФНИ по дог. ДУНК-01/3.

## 6. Литература

- [Burdea-2003] Burdea, Grigore C. and Coiffet, P. (2003): Virtual Reality Technology, Wiley-IEEE Press; 2 edition
- [Cockton et al.-2003] Cockton, G., Lavery, D., and Woolrych, A., (2003). Inspection-based methods. In J.A. Jacko and A. Sears (Eds.), The Human-Computer Interaction Handbook. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [Keim-02] Keim, Daniel (2002): Information Visualization and Visual Data Mining. IEEE Transactions On Visualization And Computer Graphics, Vol. 7, No. 1, January-March 2002
- [Kim-05] Kim, Gerard (2005): Designing Virtual Reality Systems: The Structured Approach. Springer, London
- [Marc-2006] Marc, J., Belkacem, N., Marsot, J., Virtual reality: a design tool for enhanced consideration of usability "Validation elements", 9th International symposium of ISSA research comity, Nice, France, 2006
- [Morris-2006] Richard Morris, Lionel Tarassenko, Michael Kenward (2006): Cognitive Systems: Information Processing Meets Brain Science. Academic Press.
- [Nielsen-2005] Nielsen, J., (2005). Ten Usability Heuristics. Jakob Nielsen's Alertbox. [http://www.useit.com/papers/heuristic/heuristic\\_list.html](http://www.useit.com/papers/heuristic/heuristic_list.html). William R. Sherman and Alan B. Craig. Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design. Morgan Kaufmann San Francisco, 2005
- [Sherm-05] Alistair Sutcliffe (2002), Multimedia and Virtual Reality: Designing Usable Multisensory User Interfaces L. Erlbaum Associates Inc. Hillsdale, NJ, USA.
- [Weinschenk-2000] Weinschenk, S and Barker, (2000) Designing Effective Speech Interfaces. Wiley.
- [Wexel-91] Wexelblat, A., (1991): Giving Meaning to Place: Semantic Spaces. In Michael Benedict(ed.)