

O Impacto da Avaliação de Acessibilidade em Estudos de Larga Escala sobre a Usabilidade Universal da Web

Rui Lopes Luís Carriço
LaSIGE/University of Lisbon
Campo Grande, Edifício C6
1749-016 Lisboa, Portugal
{rlopes, lmc}@di.fc.ul.pt

Resumo

Este artigo apresenta um método de modelação, Ambientes de Interação na Web, que permite exprimir as semelhanças e diferenças entre audiências para o estudo da usabilidade universal da Web. Com base neste método, definimos o modelo implícito da WCAG e estudámos o seu impacto na avaliação da acessibilidade na Wikipédia em larga escala. Descobrimos que os mecanismos de edição padronizada como os usados na Wikipédia reduzem o esforço de produzir conteúdos acessíveis, mas não garantem que as ligações para sítios externos mantenham o mesmo nível de acessibilidade. Por fim, discutimos a natureza de caixa negra de recomendações como a WCAG e como a formalização de audiências pode ajudar no estudo da usabilidade universal da Web em larga escala.

Palavras-Chave

Modelação de Audiências, Usabilidade Universal, Ambientes de Interação na Web, AIW

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da Web está a mudar profundamente a forma como as pessoas interagem com a informação e com outras pessoas. Isto levou a uma expansão das oportunidades para a Web em diferentes vertentes, incluindo a produção massiva de conteúdos de todos para todos (e.g., Wikipédia¹). Para lidar com este crescimento, Shneiderman propôs uma agenda para a Usabilidade Universal [27], um dos desafios principais da Ciência da Web [2, 29]. Este desafio centra-se em perceber a acomodação do software (particularmente as suas interfaces com o utilizador) à variedade de tecnologia, variedade de utilizadores e de conhecimento, por oposição às soluções únicas para todos.

O aumento da população que acede à Web trouxe atenção a sectores específicos que não devem ser ignorados, como os idosos, crianças, deficientes, etc. A disponibilidade de navegadores Web em dispositivos que não os tradicionais (e.g., telemóveis) também contribuiu para esta expansão da Web. A combinação destes factores e situações de uso especiais (e.g., espaços públicos) trás novos desafios.

Porém, quando se desenha e concretiza um sítio Web, em especial o seu lado interactivo, é complicado manter níveis elevados de usabilidade para todas as audiências. Em consequência, algumas são tipicamente ignoradas, dado que se torna impraticável criar diferentes versões de interfaces Web para cada uma, resultando em graves problemas de acessibilidade e usabilidade. Além do mais, quando se

analisam várias páginas os utilizadores deparam-se com diferentes níveis de usabilidade e acessibilidade, rompendo ainda mais a sua experiência na Web.

Para colmatar este tipo de problemas, vários peritos definiram diversas normas de usabilidade universal que cumpram as expectativas dos utilizadores, como a WCAG [4], ISO/TS 16071:2003 [12], etc. Tradicionalmente, tais procedimentos requerem uma análise pericial (com ou sem utilizadores reais no processo), de forma a atribuir-se uma marca de qualidade para a audiência que se está a estudar. Isto coloca problemas complicados quando se escala para estudos da usabilidade universal da Web. Assim, há muita informação latente que ainda não se compreendeu (e.g., o nível de qualidade para diferentes tipos de utilizadores, e como influencia a sua experiência de utilização).

Neste artigo apresentamos um método de modelação para expressar *Ambientes de Interação na Web* (AIWs) para facilitar o estudo de problemas de usabilidade universal da Web. Usamos este método para perceber a audiência implícita da norma WCAG 1.0 e conduzimos um estudo de larga escala sobre a acessibilidade da Wikipédia. Por fim, discutimos as limitações dos estudos de usabilidade universal baseados nas limitações deste tipo de normas.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Modelação de Audiências

Uma forma de se olhar para a modelação de audiências é a caracterização de utilizadores e dispositivos através da

¹<http://www.wikipedia.org>

modelação da interacção multimodal. Em [22], os autores apresentam uma forma de expressar interacção multimodal baseada em UML, em termos de efeitos sensoriais, perceptuais e cognitivos. Este método foi aplicado em diferentes contextos, incluindo a modelação de acessibilidade universal [21] e adaptação de conteúdos [20]. Esta metodologia foi orientada para investigadores que necessitam de descrever cenários multimodais com grande detalhe (e.g., descrever os efeitos perceptuais em tarefas de interacção por voz). Porém, por ser de baixo nível, torna-se moroso e complicado descrever audiências elementares e explorar as suas semelhanças e diferenças.

A modelação de audiências pode ser generalizada para os conceitos de consciência e sensibilidade a contexto. Estes conceitos englobam capacidades de personalização, adaptação a dispositivos, e detecção de informação através de sensores. Diferentes práticas de engenharia Web utilizam contexto na concepção de aplicações Web adaptativas [32, 8, 5]. Este tipo de práticas possibilitam explorar aplicações já existentes [9], bem como inferir capacidades de consciência de contexto. Todavia, este tipo de funcionalidades não são triviais, dado que se aplicam mais à modelação de aplicações (e.g., modelos de dados) [15] e não a processos de avaliação de usabilidade universal.

A modelação de utilizadores ubíqua [11] também fornece algumas pistas para a adequação de interfaces Web, em especial em cenários de personalização de conteúdos. Neste trabalho, modelos exprimem as características de indivíduos, dispositivos, acções e histórico de navegação para adequar os conteúdos de forma mais eficiente. Apesar de ter um objectivo diferente, a modelação de utilizadores ubíqua fornece pistas sobre que características poderão exprimir AIWs. Em [10], os autores descrevem vários métodos de se obter estes modelos automaticamente.

O crescente interesse pela usabilidade universal fornece conhecimento interessante para o estudo de ambientes de interacção na Web. Em [28] propõe-se uma forma de construção de interfaces por camadas para facilitar o uso de sistemas complexos com base na perícia de cada utilizador, reduzindo as falhas de conhecimento [1]. Acredita-se que este tipo de aproximações poderão ser expandidas e emparelhadas nas práticas de modelação de audiências.

2.2. Quantificação de Usabilidade Universal

A compreensão do grau de usabilidade de uma interface para utilizadores é uma medida crucial para o sucesso de aplicações de software [25], incluindo sítios Web e aplicações Web [19]. Porém, como este tipo de metodologias requerem inspecção manual por parte de peritos, é tipicamente deixada de lado por quem concebe páginas Web [14, 23]. Além do mais, com a democratização da produção e disseminação de conteúdos na Web, urge a necessidade de se usar aproximações automáticas para verificação da usabilidade.

Para colmatar este tipo de problemas, os procedimentos automáticos devem verificar e quantificar o quão acessíveis e usáveis são os sítios Web, em especial para cada tipo de

audiência. Em [13] os autores apresentam o estado da arte deste tipo de procedimentos. Porém, este tipo de metodologias e enquadramentos assumem que as audiências são heterogéneas, mas avaliam-nas de uma forma homogénea. Em consequência, este tipo de avaliações devem ser personalizadas para as características de cada utilizador, bem como para o dispositivo que usam para interagir [35], servindo de base para métricas de quantificação para se compreender a usabilidade universal das interfaces [34].

2.3. Estudos de Larga Escala da Web

Os estudos da usabilidade universal só podem escalar para as dimensões da Web com base na compreensão dos requisitos de cada utilizador e a compreensão da adequação de um sítio Web a estes (i.e., através de métricas de quantificação e avaliações automáticas). Apesar de vários estudos de larga escala da Web terem sido feitos, como detalhado em [7], pouco se sabe sobre o impacto da usabilidade universal de cada sítio Web no contexto da Web como um todo. Apesar de já se saber algo sobre a estrutura da Web [3], este tipo de estudo não se adequam ao *mundo real* da enorme diversidade de utilizadores.

3. AMBIENTES DE INTERACÇÃO NA WEB

Para se estudar a universalidade da usabilidade de uma interface Web, dever-se-á começar por compreender quais as audiências que se querem suportar e, depois, explorar as suas semelhanças e diferenças. O conceito de Ambientes de Interacção na Web (AIW) emerge deste cenário. Um AIW define-se como o grupo de características de uma audiência, baseado no qual se farão avaliações a um sítio Web. Cada sítio poderá suportar mais do que um AIW e várias características poderão ser partilhadas entre eles. Desta forma, pode-se explorar as sinergias entre cada AIW.

Um AIW não deve representar uma instância particular de grupos de características (e.g., *Utilizador X*). Os AIWs devem focar-se na agregação das características que representam um grupo específico (e.g., *Invisual* representa todas as pessoas que têm uma deficiência visual).

Com base nos desafios propostos por Shneiderman [27] (i.e., *variedade de tecnologia, diversidade de utilizadores, diferenças do conhecimento de utilizadores*), definimos quatro domínios de características: (1) *Utilizadores*, que comporta as características intrínsecas da *diversidade de utilizadores*, (2) *Dispositivos*, que suporta a *variedade de tecnologia*, (3) *Situações de uso*, colocam o *Utilizador* a interagir com um *Dispositivo* em diferentes situações, e (4) *Intenções do utilizador*, que suporta aspectos das *diferenças do conhecimento de utilizadores*.

De seguida detalhamos cada um destes quatro domínios de características.

3.1. Utilizadores

Existe uma enorme diversidade de utilizadores a interagir com a Web diariamente. Este facto torna-se visível e mais relevante especialmente devido ao aumento de tráfego e alargamento do espectro de interesses para cada sítio Web. Quando os sítios Web necessitam de se adaptar a diferentes

tipos de utilizadores, mantendo a qualidade na experiência de utilizador, cada grupo de características deve ser tido em conta com bastante cuidado. Assim, um AIW deverá poder classificar e caracterizar diferentes utilizadores.

Estes requisitos podem ser caracterizados de diferentes perspectivas, como por exemplo (in)capacidades físicas e cognitivas, idade, sexo, aspectos culturais, etc. Ao se escolher características apropriadas, os AIWs podem descrever audiências de largo espectro, como *Idosos*, *Activos*, ou mais específicos, como *Daltónicos* ou *Amblíopes*.

3.2. Dispositivos

Com o crescente aumento de dispositivos com ligação à internet, os sítios Web passam a poder ser acedidos por utilizadores através de dispositivos que não o típico computador pessoal. Entre outros, isto inclui PDAs, telemóveis, quiosques, televisões, consolas de jogos, etc. Para além do mais, os utilizadores com necessidades especiais trouxeram novas atenções para os dispositivos de assistência (e.g., terminais braille). Esta diversidade abrange um largo grupo de modalidades de entrada e de saída, bem como diferentes configurações em cada um. Assim, torna-se difícil oferecer o mesmo nível de usabilidade em cada dispositivo sem se afinar as interfaces Web de forma adequada.

Por forma a perceber-se quais dispositivos devem ser suportados por um sítio Web, um AIW deve exprimir as características de cada grupo de dispositivos, incluindo modalidades de entrada e saída, capacidades, limitações, etc. Assim, os AIWs devem descrever o ecossistema de dispositivos suportados, explicitando as possíveis sinergias entre cada grupo de dispositivos. Exemplos de AIWs orientados a dispositivos incluem *Dispositivos baseados em teclado*, *Dispositivos com saída visual*, ou *PDA*.

3.3. Situações de Uso

Outro factor que deve ser tido em conta ao se definir AIWs diz respeito às situações de uso. Os utilizadores não podem ser vistos de forma independente do dispositivo que usam para interagir com a Web. Ao se explorar as sinergias entre diferentes AIWs, as situações de uso podem relacionar características do *Utilizador* com as do *Dispositivo*, ajudando ao estudo dos efeitos de colocar o utilizador a *usar* o dispositivo, facto que influencia profundamente a experiência do utilizador ao interagir com a Web.

Podem-se distinguir dois tipos de situações de uso com os AIWs: ambiente e interligação. O primeiro diz respeito a cenários situacionais, i.e., estudar o utilizador com o dispositivo numa situação real. Este tipo de características inclui espaços públicos, ruído de fundo, luminosidade, conectividade intermitente, etc. Isto permite a exploração de AIWs como *Cidade* ou *Noite*, e como estes aspectos poderão influenciar a qualidade da experiência do utilizador.

A segunda situação, interligação utilizador/dispositivo, centra-se em compreender os possíveis problemas de acessibilidade e usabilidade que podem surgir na combinação dos dois factores. Por exemplo, considerando o caso em que um sítio Web suporta um AIW para invisuais e outro

para dispositivos móveis. Quando ambos os AIWs são tidos em conta ao mesmo tempo, a experiência de utilização poderá degradar-se, dado que determinadas decisões poderão ser incompatíveis (e.g., invisual vs. ecrã).

3.4. Intenções do Utilizador

O último domínio de características diz respeito às intenções do utilizador. Alguns sítios Web são orientados a audiências muito específicas ou servem um único propósito (e.g., fornecer informação). Porém, outros sítios Web podem ser utilizados para várias tarefas. Por exemplo, considerando o sítio Amazon.com², este pode ser usado para tarefas de informação (acerca de um livro, p.e.) ou para efectuar transacções.

Como cada utilizador poderá ter diferentes intenções ao interagir com um sítio Web, a forma como a informação é apresentada e navegada influencia fortemente a sua usabilidade. Consequentemente, os AIWs devem suportar a descrição das intenções dos utilizadores através de um conjunto de características apropriadas, de forma a poder-se estudar este tipo de situações.

4. VOCABULÁRIO

Por forma a descrever-se as diferentes características que podem ser utilizadas na definição de um AIW, criámos um vocabulário de suporte com mais de 130 conceitos através da linguagem OWL [26] e um conjunto de boas práticas de engenharia de ontologias [31]. Com a existência de um vocabulário comum e formal para caracterizar AIWs reduz-se a ambiguidade na discussão de cenários de interacção. Além do mais, este tipo de formalismos abre o caminho para ferramentas que exploram estas actividades de caracterização de AIWs, como sistemas periciais, desenvolvimento baseado em modelos, etc.

Em consonância com os domínios descritos anteriormente, optámos por criar uma ontologia que unifica os vocabulários dos quatro domínios, como se vê na Figura 1. O conceito raiz, *Characteristic*, representa a abstracção mais geral de todas as características. Cada relação pai/filho na ontologia define-se como *é-um* (e.g., *Autonomy* é um *Device Characteristic*). Assim, níveis mais profundos representam características mais específicas.

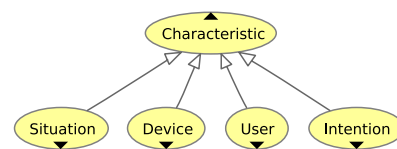


Figura 1. Principais vocabulários para AIWs

No que diz respeito à descrição de utilizadores, existem várias aproximações anteriores. A mais importante origina da Organização Mundial de Saúde, através do ICF³ (International Classification of Functioning, Disability and Health). O ICF descreve conceitos vários, como funções do

²<http://www.amazon.com>

³<http://www.who.int/classifications/icf/site/index.cfm>

corpo e estruturas, para a qualificação de deficiências em actividades de diagnóstico médico. Optámos por não embeber esta classificação directamente dado que não contém vários conceitos que poderão ser úteis na descrição de AIWs. Por exemplo, esta classificação deixa de fora os diferentes tipos de daltonismo. Ao invés, descreve apenas *Visão de cor* como *Funções de visão capazes de distinguir e associar cores*. De qualquer forma, esta classificação deu várias pistas para quais conceitos deveriam estar expressos na nossa ontologia. Na Figura 2 podem-se ver alguns dos conceitos extraídos do domínio *Utilizador*.

User
UserAbility
AbilityCognitive
AbilityPhysical
UserCharacteristics
CharacteristicsAge
CharacteristicsHandedness
UserCulture
CultureLanguage
LanguageWritingDirection
UserDisability
DisabilityCognitive
CognitiveMemory
CognitiveReading
DisabilityPhysical
PhysicalBlind
PhysicalMotor

Figura 2. Domínio *Utilizador* (parcial)

No que diz respeito à caracterização de dispositivos, definimos os principais conceitos existentes em diversos dispositivos com base em categorizações já existentes [36, 18, 11]. Todavia, nenhuma destas categorizações fornece conceitos que cobrem o espectro de modalidades de entrada e saída tipicamente encontradas em cenários de interactividade universal com a Web.

Assim, definimos o domínio *Dispositivo* que tem em conta estas especificidades. As modalidades podem estar presentes no dispositivo como hardware (e.g., ecrã), capacidades do sistema operativo (e.g., ajudantes de acessibilidade), etc. Na Figura 3 apresenta-se um excerto.

Device
DeviceAutonomy
DeviceInput
InputKeyboard
InputPointing
PointingMouse
PointingTouch
DeviceNetwork
DeviceOutput
OutputAural
OutputHaptic
OutputVisual
DeviceUserAgent
UserAgentMediaAccept
UserAgentType

Figura 3. Domínio *Dispositivo* (parcial)

Para a caracterização de AIWs sobre situações de utilização, enriquecemos este domínio com conceitos para situações do utilizador (e.g., manuseamento do dispositivo) e situações de ubiquidade (e.g., conectividade,

ruído). Este domínio foi derivado parcialmente da ontologia *UbisWorld* [11], onde se caracterizam vários conceitos de ubiquidade. Na Figura 4 apresentam-se alguns dos conceitos deste domínio.

Situation
SituationConnectivity
SituationEnvironment
EnvironmentLightning
EnvironmentNoise
EnvironmentSpace
SpacePrivate
SpacePublic
SituationHandling
HandlingDualHanded
SituationMovement
SituationPosture

Figura 4. Domínio *Situações de utilização*

Por fim, mapeámos as diferentes características sobre intenções do utilizador em mais um domínio da ontologia. Optámos por utilizar a caracterização proposta em [16], que surge de um estudo feito através de metodologias de monitorização de actividades dos utilizadores. Na Figura 5 apresentam-se estas características para a concepção de AIWs baseadas em intenções do utilizador.

Intention
IntentionExchange
ExchangeCommunications
ExchangeTransactions
IntentionMaintenance
IntentionSeeking
SeekingBrowsing
SeekingFactFinding
SeekingInformationGathering

Figura 5. Domínio *Intenções do utilizador*

De seguida apresentamos um método de modelação para a descrição de AIWs que explora este vocabulário.

5. MODELAÇÃO DE AIWs

A ontologia anteriormente apresentada tem um papel fundamental na descrição de AIWs através dos termos nela definidos. Porém, a listagem de conceitos é insuficiente para a descrição de AIWs. Deve ser possível sintetizar AIWs de uma forma simples, de forma a facilitar a exploração as semelhanças e diferenças entre AIWs.

Assim, definimos um método de modelação suportada pelos vocabulários anteriormente apresentados, suportado através da descrição gráfica dos AIWs, como apresentado na Figura 6. Este método baseia-se num meta modelo apresentado em [17], que foi definido para a modelação de cenários de interacção com documentos multimédia.

O meta modelo AIW define os conceitos básicos para expressar AIWs. Este meta modelo define a raiz de modelação (*WIEModel*) que é composta por um conjunto de classes (*WIE*) and as suas características associadas (*WIECharacteristic*). Cada *WIE* agrupa um conjunto de instâncias de *WIECharacteristic*, descrevendo assim um ambiente de interacção na Web particular. Cada instância

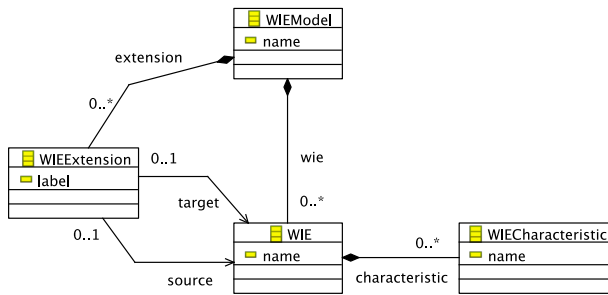


Figura 6. Meta-modelo AIW

de *WIECharacteristic* corresponde a um conceito existente no vocabulário anteriormente apresentado.

É de referir que este método de modelação baseia-se numa assumpção de mundo aberto, isto é, o que não está explícito como uma característica num AIW não é necessariamente falso, mas sim apenas desconhecido. Esta capacidade reforça a natureza explícita necessária para exprimir quais factores deverão ser tidos em conta no estudo de AIWs. Por exemplo, a não existência de uma característica derivada de *wie:UserDisability* não implica que utilizadores sem deficiências podem ser associados a essa AIW. Apenas significa que não explicita o suporte a deficientes. Assim, para ter em conta utilizadores sem deficiências, dever-se-á utilizar características derivadas de *wie:UserAbility*.

Com o crescente número de AIWs modelados, aumenta também a probabilidade da existência de características que poderão ser partilhadas entre eles. Para estas situações, o meta modelo contém um mecanismo de especialização (*WIEExtension*). Por exemplo, se duas instâncias *WIE* partilham uma ou mais características, estas podem ser agrupadas com a ajuda de instâncias *WIEExtension*, criando uma nova instância *WIE* que contém estas características. Na secção 6 apresentam-se com maior detalhe uma explicação mais detalhada de como se pode usar este mecanismo para explorar as sinergias entre AIWs.

Na Figura 7 apresenta-se um exemplo simples de uma instância *WIEModel* para um sítio Web. Aqui, três instâncias da classe *WIE* foram tidas em conta. Primeiro, as duas audiências principais, *Blind* e *Non-impaired* são representadas com as suas características específicas. Depois, outra instância da classe *WIE* é especificada, *Generic User*, que agrupa um conjunto de características entre as duas audiências principais. O mecanismo fornecido por *WIEExtension* garante esta propriedade de partilha.

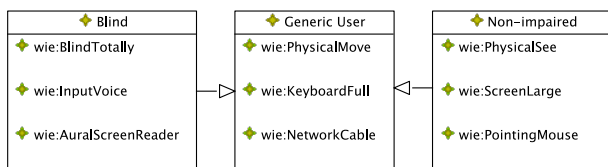


Figura 7. Exemplo de AIW

De seguida apresentamos um conjunto de boas práticas para a modelação de AIWs e como se podem explorar estas para se encontrar o elo comum entre elas.

6. BOAS PRÁTICAS

A existência de um método de modelação e um vocabulário de características apenas define a gramática para a descrição de Ambientes de Interação na Web. Para se definir a sua semântica, i.e., com um *significado* interessante, formulámos um conjunto de boas práticas para serem seguidas. Estas permitem o agrupamento e a abstracção de AIWs em *bases comuns*. Cada base comum representa o cerne das características dos AIWs que derivam de si. Isto leva a que cada base comum defina a *semântica* dos seus filhos, de forma recursiva. A exploração destas semânticas fomenta a discussão dos factores comuns que têm impacto na usabilidade universal de diferentes audiências. Esta ideia vem da hipótese levantada por Shneiderman em [27], “a acomodação a um espectro mais amplo de situações de uso força os investigadores a considerar um largo conjunto de desenhos e que leva frequentemente a inovações que beneficiam todos os utilizadores”.

6.1. Definição de Classes

O primeiro passo deste processo baseia-se na decisão de que instâncias *WIE* deverão ser suportadas. Apesar do método de obtenção destas classes ser específico para cada cenário, estas classes deverão ter um *nome* que tenha um significado apropriado. É de notar que o número de classes instanciadas influencia a cobertura de audiências e a complexidade do modelo. Quantas mais classes definidas, maior cobertura, mas também uma maior complexidade quando se derivarem bases comuns dos AIWs. Na Figura 8 apresentam-se um exemplo de criação de classes:

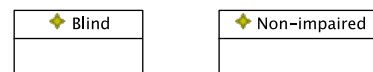


Figura 8. Exemplo de definição de classes

6.2. Selecção de Características

Após a definição de classes, dever-se-á seleccionar quais as características que se lhes adequam. Isto é feito através da adição de instâncias *WIECharacteristic* cujo nome corresponde a conceitos derivados do vocabulário apresentado. É de notar que, quantas mais características uma classe tiver (quer directamente, quer indirectamente através dos seus ancestrais), o mais específica e completa é a experiência de utilizador que lhe estará associada.

A questão mais importante na selecção de características da ontologia para cada classe advém da propriedade taxonómica da relação pai/filho entre os conceitos (i.e., relações *é um*). Com base nesta propriedade, dever-se-ão considerar duas estratégias opostas de selecção:

Seleção superficial: quanto mais alto se sobe na taxonomia (i.e., em direcção à raiz), seleccionam-se conceitos menos expressivos. Isto leva a considerar-se um

compromisso entre cobertura e especificidade, dado que conceitos mais genéricos poderão cobrir mais audiências mas falharão nos aspectos únicos que definem o ambiente de interacção, reflectindo uma qualidade de usabilidade menos precisa; **Seleção profunda:** em contraste com a selecção superficial, a selecção profunda é feita em direcção aos conceitos folha da taxonomia, suportando a selecção de conceitos mais expressivos. Da mesma forma, isto também leva a um compromisso entre cobertura e especificidade. Neste caso, quanto mais profunda for a selecção, menos audiências se conseguirá cobrir. Isto poderá resultar em ter de se encontrar mais classes que incluam outras características da taxonomia. De qualquer modo, esta selecção reflecte uma experiência de utilizador mais precisa.

Com base nestas duas estratégias de selecção, a segunda iteração do exemplo anterior é apresentada na Figura 9. Aqui, várias características foram adicionadas a cada classe, de acordo com os critérios de selecção descritos.

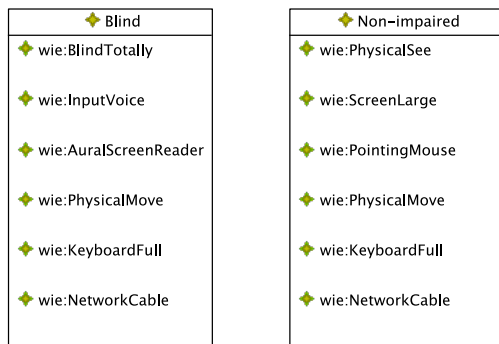


Figura 9. Adição de características

6.3. Ajuste de Classes

O terceiro passo do processo de bases comuns diz respeito à extracção de novo conhecimento a partir dos conceitos especificados nos dois passos anteriores (i.e., classes isoladas representativas de diferentes audiências). Este terceiro passo é o mais importante no processo de modelação, dado que dá suporte à exploração das semelhanças e diferenças entre AIWs. Assim, definimos três estratégias de ajuste de classes que exploram o mecanismo de extensão *WIEExtension* do meta modelo. De acordo com os cenários e casos de uso que serão cobertos, as seguintes estratégias podem ser aplicadas recursivamente:

Fusão de réplicas: quando um conjunto de características é partilhado entre duas ou mais classes, estas devem ser extraídas para uma classe pai. Isto deve ser feito através da criação de uma nova instância *WIE*, a classe pai, e associar instâncias *WIEExtension* às classes escolhidas. De seguida, o conjunto de características partilhadas é transposto para a classe pai;

Dedução de bases comuns: esta estratégia mistura a *fusão de réplicas* com a estratégia de selecção de características *profunda vs. superficial* apresentada anteriormente, através

da exploração das relações *é um* entre conceitos do vocabulário. Tal como a *fusão de réplicas*, esta estratégia começa pela criação de uma nova instância *WIE* e associar instâncias *WIEExtension* entre esta e um conjunto de classes filho. Porém o critério para a selecção de quais classes deverão ser perfilhadas não se baseia em características directamente partilhadas. Ao invés, dever-se-á aplicar uma selecção *superficial* ao conjunto de características de todas as classes escolhidas, tendo em conta quais os aspectos que deverão ser generalizados. A classe pai resultante é a *base comum* de todas as classes escolhidas.

Um importante corolário para as bases comuns vem directamente das propriedades dos critérios de selecção de características: dado que uma base comum representa também um AIW, a selecção de características mais superficiais leva a um número mais baixo de classes no modelo (reduzindo assim a complexidade deste), mas ficando menos expressivo. Em oposição, características mais específicas vão encurtar o âmbito das bases comuns (suportando assim ambientes mais específicos), mas sacrificando a simplicidade do modelo.

Com base nestes passos, aumentámos o nosso exemplo para fundir réplicas e inferir a base comum entre as classes já definidas. Esta base comum, apresentada na Figura 10, distingue-se do estado anterior (apresentado na Figura 7), mostrando que uma característica *wie:DeviceOutput* foi deduzida através de uma *selecção superficial*.

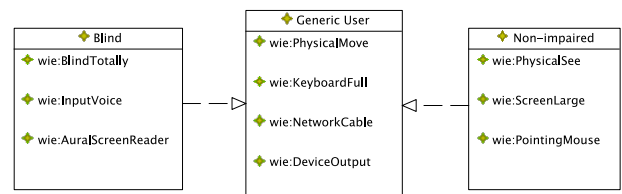


Figura 10. Exemplo de AIW ajustado

6.4. Bases Principais

Por fim, após todas as classes e características terem sido definidas, e depois de todas as bases comuns relevantes terem sido encontradas, procede-se à extracção das bases principais. Uma *base principal* é um caso especial de uma base comum que representa o conjunto mínimo de AIWs que não têm uma classe pai (quer seja uma base comum ou uma classe isolada). No caso em que apenas um AIW é definido no modelo, este é a base principal do modelo. Apesar do processo de encontrar as bases principais ser exactamente o mesmo do que para as bases comuns, é de salientar uma diferença importante. As bases comuns representam as sinergias entre AIWs a níveis intermédios, enquanto as bases principais generalizam quais factores são tidos em conta nos estudos da usabilidade universal.

Desta definição teórica de uma base principal, sai o seguinte: todos os AIWs têm sempre uma base principal composta exclusivamente pelo conceito raiz do vocabulário de características, *Characteristic*, através da aplicação de selecção superficial de forma iterativa em

todos os AIWs modelados. Porém, a informação latente de tal base principal não é relevante. Assim, esta convergência de AIWs deve ser composta (no limite) por parte dos conceitos representativos dos domínios de caracterização de AIWs (i.e., *wie:User*, *wie:Device*, *wie:Situation*, and *wie:Intention*).

Quer representem conceitos mais gerais ou mais específicos, as bases principais permitem o estudo de duas propriedades de caracterização de AIWs:

Cobertura: esta propriedade reflecte o facto de que quantas mais características estiveram numa base comum, maior é a representatividade da usabilidade universal. Por exemplo, um modelo que tenha uma base principal com as quatro características representativas dos quatro domínios implica que todas as classes do modelo cobrem características de todos os domínios;

Coesão: a outra propriedade revelada pelas bases principais diz respeito ao número destas existente num único modelo. Se, seguindo as boas práticas aqui apresentadas, apenas uma base principal é encontrada, então o nível de coesão entre todos os AIWs é maximal. Este factor pode ser representativo, p.e., da universalidade de uma interface Web. Por outro lado, quando mais do que uma base principal é encontrada, indica que há uma divisão na universalidade (diferentes versões para cada audiência).

Explorando o exemplo que acompanhou esta Secção, verificamos que o AIW *Generic User* é o elemento minimal de todos os AIWs do modelo, representando assim a base principal do modelo definido.

7. CASO DE ESTUDO: WCAG 1.0 E WIKIPÉDIA

Definimos uma experiência para estudar um subconjunto particularmente interessante da usabilidade universal da Web, o seu lado *acessível*. Formulámos o seguinte conjunto de perguntas para compreender o efeito de se permitir que qualquer utilizador possa editar o conteúdo de uma página Web, incluindo a criação de hiperligações (seja para outros conteúdos ou páginas externas): (1) a média da qualidade de acessibilidade das páginas da Wikipédia, (2) a diferença da qualidade entre páginas internas e externas, (3) a probabilidade de se seguir uma hiperligação de qualidade inferior à página onde se estava na Wikipédia e (4) quais pontos de verificação de acessibilidade são mais seguidos pelos conteúdos editados na Wikipédia.

7.1. Experiência

Através dos métodos de modelação apresentados anteriormente, chegámos ao modelo de AIWs representativo dos pontos de verificação da norma WCAG 1.0 (Figura 11).

Com base neste modelo, definimos um processo de quantificação baseado na metodologia UWEM (Unified Web Evaluation Methodology) [33], englobando um subconjunto de pontos de verificação que podem ser completamente automatizados (crucial para estudos de larga escala). Mais especificamente, estes testes analisam a estrutura HTML das páginas Web com base nas guias definidas na norma WCAG 1.0. Este processo de quantificação

responde às questões levantadas apenas para as audiências representadas no modelo AIW apresentado anteriormente, e de uma forma caixa negra (i.e., não responde individualmente para cada audiência). Esta experiência foi definida da seguinte forma: (1) um subconjunto de 100 páginas Web da Wikipédia $S = \{s_1, \dots, s_n\}$ foi escolhido aleatoriamente; (2) cada página Web p_i foi processada, por forma a extrair-se todas as hiperligações. Cada hiperligação foi seguida, resultando num conjunto de páginas Web $S_i = \{p_1, \dots, p_n\}$ apontadas por s_i ; (3) aplicou-se um pré-processamento a cada página Web (JTidy⁴), para se verificar a adesão aos standards Web. Este processo devolve duas métricas para cada página Web x : E_x , número de erros que não foi possível corrigir e W_x , o número de erros de interpretação que foram ignorados sem problema; e (4) todas as páginas foram avaliadas sobre um conjunto de verificações $C = \{c_1, \dots, c_n\}$, de acordo com a fórmula

$$A = \frac{\sum c_i}{n}, c_i \in C$$

onde $c_i = 1$ significa uma verificação bem sucedida e $c_i = 0$ quando falha. O resultado, A , devolve um valor no intervalo $[0, 1]$ que representa a qualidade de cada página.

7.2. Resultados

Escolheram-se aleatoriamente⁵ 100 páginas Web da Wikipédia e seguiram-se todas as hiperligações, atingindo um total de 7791 páginas. Do conjunto de páginas seguidas, 7211 dizem respeito a páginas dentro da Wikipédia, enquanto 480 são externas. A Tabela 1 sintetiza os resultados dos testes efectuados sobre este conjunto de páginas:

	Número	Total	%
Páginas correctas	772	7725	9.99
Verificações correctas	5	14	35.71
Erros detectados	66	7791	0.85
Avisos detectados	7782	7791	99.88

Tabela 1. Resultados gerais

Destes resultados verificamos que apenas 10% das páginas Web passaram todas as verificações. Esta situação tende a piorar com a aplicação de métodos de avaliação mais complexos. Das 14 verificações efectuadas, apenas 5 foram cumpridas na totalidade por todas as página Web, com base nos testes UWEM.

A média de acessibilidade verificada para cada página ronda os 84.6%, $\sigma = 0.088$. A qualidade mínima de acessibilidade nas páginas é apenas de 50% (i.e., 7 verificações positivas), enquanto o máximo é a correcção total.

Quando se divide a análise entre as páginas internas e externas à Wikipédia, os resultados são significativamente diferentes dos valores médios apresentados anteriormente. As tabelas 2 e 3 detalham este facto:

⁴<http://jtidy.sourceforge.net/>

⁵<http://en.wikipedia.org/wiki/Special:Random>

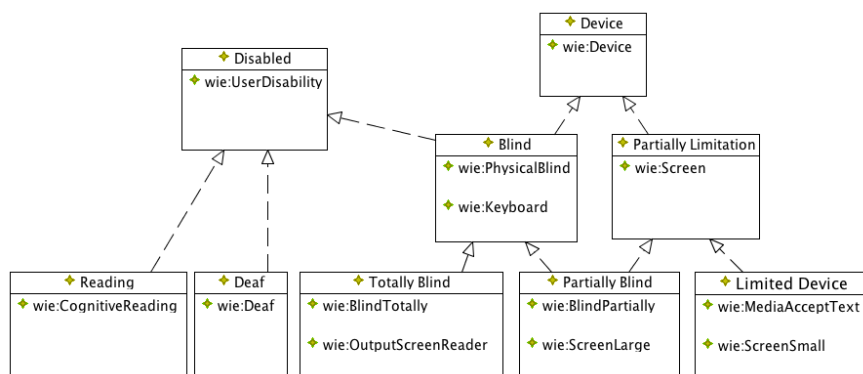


Figura 11. Modelo representativo da norma WCAG 1.0

	Número	Total	%
Páginas correctas	750	7311	10.26
Verificações correctas	5	14	35.71
Erros detectados	0	7311	0.00
Avisos detectados	7311	7311	100.00

Tabela 2. Avaliação de páginas internas

	Número	Total	%
Páginas correctas	22	414	5.31
Verificações correctas	5	14	35.71
Erros detectados	66	480	13.75
Avisos detectados	471	480	98.12

Tabela 3. Avaliação de páginas externas

Analisando as duas tabelas, torna-se relevante enfatizar o facto de que enquanto o número de verificações positivas se ter mantido, o número de páginas Web que passam o total de 14 verificações é bastante diferente nos dois conjuntos de páginas. Isto deve-se ao facto de que a estrutura geral HTML da Wikipédia passa mais testes, comparativamente às páginas externas. Além do mais, a Wikipédia fornece uma linguagem simplificada de estruturação de conteúdos, providenciando um melhor suporte às questões de acessibilidade. Com base nestes resultados, apresentamos na Tabela 4 uma comparação estatística entre os dois conjuntos de páginas:

%	Interna	Externa
Média	89.79	81.83
Máximo	100.00	100.00
Mínimo	57.14	50.00
Desvio padrão	8.68	9.66

Tabela 4. Avaliação interna vs. externa

Mais uma vez, o rácio de concordância entre as páginas da Wikipédia e as externas difere perto de 8%, e o mínimo de qualidade expectável para qualquer página da Wikipédia é mais de 7% superior do que as páginas Web externas.

Por fim, fizemos outra análise dividindo o conjunto de páginas entre as 100 sementes e todas as páginas seguidas.

As tabelas 5 e 6 sumarizam as estatísticas:

	Número	Total	%
Páginas correctas	13	100	13.00
Verificações correctas	8	14	42.86
Erros detectados	0	100	0.00
Avisos detectados	100	100	100.00

Tabela 5. Avaliação de páginas semente

	Número	Total	%
Páginas correctas	759	7625	9.95
Verificações correctas	5	14	35.71
Erros detectados	66	7691	0.86
Avisos detectados	7682	7691	99.88

Tabela 6. Avaliação de páginas seguidas

Ambas as tabelas corroboram os resultados anteriores: se uma hiperligação aleatória é seguida a partir de uma página semente, há sempre a possibilidade de se ir dar a uma página com um largo conjunto de erros (o que pode resultar numa deficiência de uso de tecnologias assistivas). Porém, quando comparando as estatísticas entre ambos os conjuntos de páginas, como apresentado na Tabela 7, obtém-se mais informação:

%	Semente	Seguida
Média	84.14	84.65
Máximo	100.00	100.00
Mínimo	64.29	50.00
Desvio padrão	9.27	8.76

Tabela 7. Avaliação semente vs. seguida

Estes números suportam a reflexão sobre a natureza exploratória da interacção com sítios Web de vastos conteúdos com um largo número de hiperligações. Se um utilizador segue uma hiperligação a partir de uma página da Wikipédia, não há garantia que a página destino tem um nível de acessibilidade superior ou inferior. Porém, é espectável que, devido à natureza selvática da Web (por oposição à natureza estruturada e padronizada da Wikipédia), que a

qualidade mínima de acessibilidade decresce significativamente (15%, no caso da experiência efectuada).

8. DISCUSSÃO

Com base no modelo encontrado, bem como no caso de estudo efectuado sobre a Wikipédia, várias questões devem ser discutidas: a democratização de práticas de autoria Web e o seu impacto na acessibilidade e usabilidade universal, na forma como os procedimentos de quantificação funcionam e como podem ser usados em estudos de larga escala sobre a usabilidade universal da Web e, por fim, uma reflexão sobre o uso de guias ou procedimentos formais na melhoria da usabilidade universal da Web a longo prazo.

8.1. Democratização de Autoria na Web

O resultado imediato da experiência apresentada neste artigo é visível em duas frentes:

Qualidade base: a criação de mecanismos de edição padronizados permite a qualquer utilizador formatar conteúdos sem ser perito em questões de acessibilidade. Estes mecanismos asseguram que os utilizadores introduzem os conteúdos de forma adequada e transforma-nos posteriormente de acordo com as normas correctas, aumentando o nível de cumprimento destas; **Qualidade de hiperligações:** o outro lado desta democratização diz respeito à criação de hiperligações a sítios externos. Os utilizadores não têm a noção de que poderão estar a criar hiperligações para sítios com um menor grau de acessibilidade, o que resulta numa degradação da experiência de interacção dos utilizadores.

8.2. Procedimentos de Quantificação

A tarefa de quantificar a usabilidade universal não é trivial de todo. Correntemente não existe uma métrica que suporte a medição através de fórmulas de quantificação de usabilidade de um sítio Web para qualquer audiência, independentemente das suas características particulares. Apesar de existirem várias métricas para subconjuntos interessantes de audiências (e.g., invisuais), há ainda um grande vazio neste campo. Além do mais, como vários procedimentos requerem inspecção manual, os processos de quantificação da usabilidade universal tornam-se morosos quando se escala para a dimensão da Web. Assim, as limitações existentes nestes procedimentos limitam também o conhecimento que pode ser obtido sobre a Web.

8.3. Guias vs. Formalização

É do conhecimento geral que as normas existentes sobre acessibilidade (p.e., WCAG), não cobrem todos os aspectos da acessibilidade, especialmente quando se discute sobre audiências que não os invisuais [30]. Além do mais, este tipo de normas deixam de fora diversos aspectos de usabilidade, dado que ambos os aspectos contribuem de forma diferente para a usabilidade universal [24].

Quando se juntam este tipo de normas com os procedimentos de quantificação, este aspecto torna-se crítico. Primeiro, como explicado no caso de estudo, este tipo de normas são especificadas em caixa negra (cobrem um espectro

completo de audiências no âmbito a que se dedicam). Em consequência, todos os procedimentos de quantificação que trabalham sobre estes (tal como o apresentado neste artigo) são também efectuados em caixa negra, por definição. Assim, pouco ou nada se sabe sobre cada audiência.

Torna-se assim necessário formalizar este tipo de normas de forma a que possam ser verificadas, atribuídas a AIWs específicos e quantificadas de forma automática.

9. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Este artigo apresentou o conceito de *Ambientes de Interação na Web*, um método de modelação para o estudo da usabilidade universal da Web. Este método inclui uma taxonomia de conceitos de suporte à caracterização de audiências, bem como a exploração das suas semelhanças e diferenças. Com base neste método, definimos o modelo implícito da norma WCAG 1.0. Aplicámos uma métrica simples para quantificar a acessibilidade das audiências representadas por este modelo, no contexto de um conjunto de páginas seleccionadas aleatoriamente da Wikipédia. Este estudo de larga escala permitiu-nos verificar que, apesar de controlar vários aspectos da qualidade da acessibilidade, os mecanismos de padronização como os fornecidos na edição de páginas da Wikipédia não garantem a qualidade alta da experiência de utilização para as audiências cobertas pela norma WCAG 1.0. Por fim, este artigo apontou várias direcções futuras para o estudo da usabilidade universal da Web em larga escala.

Com base no trabalho apresentado neste artigo, está-se a desenvolvê-lo nas seguintes direcções: (1) descrição da semântica entre audiências e verificações com base nos seus requisitos inerentes; (2) definição formal de critérios de avaliação da usabilidade universal da Web; (3) explorar outros casos de estudo no contexto da usabilidade universal e estudar como os processos de quantificação e as normas diferem para diferentes audiências; e (4) expandir estes estudos para a norma WCAG 2.0.

10. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi suportado pela FCT (bolsa SFRH/BD/29150/2006 e Prog. de Fundos Multianual).

Referências

- [1] Ron Baecker, Kellogg Booth, Sasha Jovicic, Joanna McGrenere, and Gale Moore. Reducing the gap between what users know and what they need to know. In *CUU '00: Proceedings on the 2000 conference on Universal Usability*, pages 17–23, New York, NY, USA, 2000. ACM.
- [2] Tim Berners-Lee, Wendy Hall, James A. Hendler, Kieron O'Hara, Nigel Shadbolt, and Daniel J. Weitzner. A Framework for Web Science. *Found. Trends Web Sci.*, 1(1):1–130, 2006.
- [3] Rodrigo A. Botafogo, Ehud Rivlin, and Ben Shneiderman. Structural analysis of hypertexts: identifying hierarchies and useful metrics. *ACM Trans. Inf. Syst.*, 10(2):142–180, 1992.
- [4] Ben Caldwell, Wendy Chisholm, John Slatin, and Gregg Vanderheiden. Web Content Accessibility Guidelines 2.0. W3C Working Draft, World Wide Web Consortium (W3C), May 2007. <http://www.w3.org/TR/WCAG20/>.

- [5] Stefano Ceri, Florian Daniel, Maristella Matera, and Federico M. Facca. Model-driven development of context-aware Web applications. *ACM Trans. Inter. Tech.*, 7(1):2, 2007.
- [6] E. F. Codd. A relational model of data for large shared data banks. *Commun. ACM*, 13(6):377–387, 1970.
- [7] Devanshu Dhyani, Wee Keong Ng, and Sourav S. Bhowmick. A survey of web metrics. *ACM Comput. Surv.*, 34(4):469–503, 2002.
- [8] J. Fink, A. Kobsa, and A. Nill. Towards a user-adapted information environment on the Web. In *Multimedia and Standardization 98*, 1998.
- [9] Franca Garzotto, Luca Mainetti, and Paolo Paolini. Hypermedia design, analysis, and evaluation issues. *Commun. ACM*, 38(8):74–86, 1995.
- [10] Susan Gauch, Mirco Speretta, Aravind Chandramouli, and Alessandro Micarelli. User Profiles for Personalized Information Access. pages 54–89. 2007.
- [11] Dominik Heckmann. *Ubiquitous User Modeling*. PhD thesis, Department of Computer Science, Saarland University, November 2005.
- [12] ISO/TS 16071:2003 - Ergonomics of human-system interaction – Guidance on accessibility for human-computer interfaces, 2003.
- [13] Melody Y. Ivory and Marti A Hearst. The state of the art in automating usability evaluation of user interfaces. *ACM Comput. Surv.*, 33(4):470–516, 2001.
- [14] H.; Ramamurthy K. Jahng, J.; Jain. Effective design of electronic commerce environments: a proposed theory of congruence and an illustration. *Systems, Man and Cybernetics, Part A, IEEE Transactions on*, 30(4):456–471, 2000.
- [15] G. Kappel, B. Prll, W. Retschitzegger, W. Schwinger, and T. Hofer. Modeling Ubiquitous Web Applications – A Comparison of Approaches. In *Int. Conf. on Information Integration and Web-based Applications and Services (iiWAS)*, Sep 2001.
- [16] Melanie Kellar, Carolyn Watters, and Michael Shepherd. A Goal-based Classification of Web Information Tasks. *Proceedings 69th Annual Meeting of the American Society for Information Science and Technology 43*, Sep 2007.
- [17] Rui Lopes and Luís Carriço. Leveraging Rich Accessible Documents on the Web. In *W4A'2007: the 4th International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility*, Banff, Canada, 2007. ACM Press.
- [18] L. Masinter, D. Wing, A. Mutz, and K. Holtman. Media Features for Display, Print, and Fax. RFC 2534, IEFT, March 1999.
- [19] Jakob Nielsen. *Designing Web Usability: The Practice of Simplicity*. New Riders Publishing, 2000.
- [20] Z. Obrenovic, D. Starcevic, and B. Selic. A model-driven approach to content repurposing. *IEEE Multimedia*, 11(1):62–71, 2004.
- [21] Zeljko Obrenovic, Julio Abascal, and Dusan Starcevic. Universal accessibility as a multimodal design issue. *Commun. ACM*, 50(5):83–88, 2007.
- [22] Zeljko Obrenovic and Dusan Starcevic. Modeling Multimodal Human-Computer Interaction. *Computer*, 37(9):65–72, 2004.
- [23] Jonathan W. Palmer. Web Site Usability, Design, and Performance Metrics. *Info. Sys. Research*, 13(2):151–167, 2002.
- [24] Helen Petrie and Omar Kheir. The relationship between accessibility and usability of websites. In *CHI '07: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 397–406, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [25] J. Preece, H. Sharp, D. Benyon, S. Holland, and T. Carey. *Human Computer Interaction*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1994.
- [26] G. Schreiber and M. Dean. OWL Web Ontology Language Reference. W3C Recommendation, World Wide Web Consortium, February 2004. <http://www.w3.org/TR/owl-ref/>.
- [27] Ben Shneiderman. Universal Usability. *Commun. ACM*, 43(5):84–91, 2000.
- [28] Ben Shneiderman. Promoting universal usability with multi-layer interface design. In *CUU '03: Proceedings of the 2003 conference on Universal usability*, pages 1–8, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [29] Ben Shneiderman. Web Science: A Provocative Invitation to Computer Science. *Commun. ACM*, 50(6):25–27, 2007.
- [30] David Sloan, Peter Gregor, Murray Rowan, and Paul Booth. Accessible accessibility. In *CUU '00: Proceedings of the 2000 conference on Universal Usability*, pages 96–101, New York, NY, USA, 2000. ACM.
- [31] Michael K. Smith, Chris Welty, and Deborah L. McGuinness. OWL Web Ontology Language Guide. W3C Recommendation, World Wide Web Consortium, February 2004. <http://www.w3.org/TR/owl-guide/>.
- [32] O. Troyer, W. Goedefroy, and R. Meersman. UR-WSDM: Adding User Requirements Granularity to Model Web-based Information Systems. In *First Workshop on Hypermedia Development, HT'98.*, 1998.
- [33] Eric Velleman, Colin Meerveld, Christophe Strobbe, Johannes Koch, Carlos A. Velasco, Mikael Snaprud, and Annika Nietzio. Unified Web Evaluation Methodology (UWEM 1.2), 2007.
- [34] Markel Vigo, Myriam Arrue, Giorgio Brajnik, Raffaella Lomuscio, and Julio Abascal. Quantitative metrics for measuring web accessibility. In *W4A '07: Proceedings of the 2007 international cross-disciplinary conference on Web accessibility (W4A)*, pages 99–107, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [35] Markel Vigo, Alfred Kobsa, Myriam Arrue, and Julio Abascal. User-tailored web accessibility evaluations. In *HT '07: Proceedings of the 18th conference on Hypertext and hypermedia*, pages 95–104. ACM, 2007.
- [36] W3C Device Independence Group. Composite Capability/Preference Profiles (CC/PP): Structure and Vocabularies 1.0. W3C Recommendation, World Wide Web Consortium, January 2004. <http://www.w3.org/TR/CCPP-struct-vocab/>.