

Automação Residencial: rumo a um futuro pleno de novas soluções

Luiz Antônio de Moraes Pereira
lpereira@inf.puc-rio.br
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio

Abstract

Home Automation: towards a future plentiful of new solutions

The development of microprocessors more and more powerful and cheap makes feasible their employment in large-scale in devices capable of carrying out domestic tasks automatically. Facing this reality and considering an adequate data communication infrastructure for home use, we discuss in this paper how current research in ubiquitous computing, electronic surveillance, service oriented architectures and workflow management systems may contribute to home automation, leading to the development of new solutions in the area.

Resumo

O desenvolvimento de microprocessadores cada vez mais potentes e baratos viabiliza seus empregos em larga escala em dispositivos capazes de realizar tarefas domésticas de forma automatizada. Nesse artigo discutimos como, diante dessa realidade, a partir de infra-estrutura adequada de comunicação de dados para uso doméstico, as pesquisas em computação ubíqua, vigilância eletrônica, arquiteturas orientadas a serviços e sistemas de gerência de workflows poderão contribuir com automação residencial, permitindo o desenvolvimento de novas soluções para a área.

Palavras chaves: automação residencial, computação ubíqua, computação pervasiva, redes sem fio, fluxos de trabalho, sistemas de gerência de *workflows*.

1. INTRODUÇÃO

Ambientes inteligentes são aqueles capazes de adquirir e aplicar os conhecimentos sobre si próprios e de seus ocupantes de forma a melhorarem o dia-a-dia de seus ocupantes [1], tipicamente contando com elevados índices de automação.

Automação trata de sistemas desenvolvidos para a execução automática de atividades repetitivas ou quando da ocorrência de determinados eventos. Um sistema de automação possui mecanismos que controlam, de forma pré-programada, seus próprios funcionamentos, com pouca ou nenhuma interferência do homem. Automação pode ser vista como um ciclo de três etapas: (1) captura do estado do ambiente, (2) definição da necessidade e da forma de atuação considerando os objetivos pré-estabelecidos para o estado e (3) execução das ações necessárias para mudar o estado do ambiente. Automação envolve, portanto, sensoriamento, controle e comando.

Automação residencial é o emprego da automação nas residências.

As soluções em automação residencial atualmente atendem, não apenas aos portadores de deficiências físicas, tradicionais beneficiários das pesquisas e desenvolvimento na área, como a moradores que buscam tão somente a diminuição do tempo envolvido na execução de tarefas repetitivas e freqüentes, como rega de plantas e limpeza, e a conveniência de controlar automaticamente a iluminação e a temperatura de suas casas, entre outras.

Adicionalmente, a natural busca por um lugar seguro pra se morar, em face dos crescentes problemas sociais que afligem o mundo de hoje, vem demandando o desenvolvimento de sistemas de monitoramento e segurança residencial cada vez mais onipresentes, inteligentes e com mais recursos.

Adicionalmente, ainda, a necessária busca pelo uso mais racional dos recursos naturais nos obriga a minimizar desperdícios, maximizar benefícios, reutilizar, etc, nos obrigando, por consequência, a aprimorar os dispositivos que utilizam esses recursos, dotando-os de mais “inteligência embarcada”.

As casas providas de alto grau de automatização, de dispositivos que aumentam a segurança de seus ocupantes e de mecanismos para maior e melhor aproveitamento dos recursos naturais são chamadas de “lares” ou “casas inteligentes”, se enquadrando na definição de ambientes inteligentes que demos anteriormente. Elas têm recebido atenção crescente da academia e da indústria pelas soluções que as novas tecnologias disponíveis podem compor, soluções essas que permitem tratar, de forma integrada, a diminuição dos dispêndios financeiros e de recursos naturais e o aumento de conforto, segurança e conveniência de seus ocupantes.

A disponibilidade de microprocessadores cada vez mais potentes e baratos viabiliza o desenvolvimento em larga escala de dispositivos “inteligentes” capazes de realizar mais autônoma e automaticamente tarefas domésticas. As diversas tecnologias já disponíveis de infra-estrutura de comunicação de dados para residências e pequenos escritórios expandem ainda mais esses horizontes, pois provêm as bases para que esses dispositivos realizem as tarefas de forma colaborativa, com autonomia e mobilidade.

Neste artigo tratamos de automação residencial, fazendo um breve histórico da área, relacionando tecnologias importantes disponíveis para esse fim e apontando áreas de pesquisas em Ciência da Computação que consideramos relevantes nesse contexto, discutindo, ainda, como julgamos que cada uma dessas áreas poderá contribuir ainda mais, em um futuro próximo, para o desenvolvimento de aplicações de automação para casas inteligentes. Essas áreas são: computação ubíqua, vigilância eletrônica, arquiteturas orientadas a serviços e coordenação de processos com o uso de sistemas de gerência de *workflows*.

Para tal, estruturamos o restante do artigo na forma que se segue. No item 2 é apresentado um breve histórico e o contexto atual de automação residencial, as principais tecnologias que vêm sendo usadas e quais as principais vantagens, desvantagens e limitações de cada uma delas. O item 3 apresenta cenários aparentemente futuristas, porém perfeitamente realizáveis com as tecnologias já disponíveis de que trataremos no item 4, que apresenta as áreas de pesquisa mencionadas nesta introdução, discutindo como elas podem compor as (novas) soluções para a realização dos cenários apresentados no item 3. Finalmente, no item 5, fazemos a conclusão do artigo.

2. HISTÓRIA E CONTEXTO ATUAL

No item 2.1 apresentaremos um breve histórico e uma visão geral do contexto atual de automação residencial, mencionando o *software* e o *hardware* mais em usos, as tecnologias de comunicação de dados que vêm sendo usadas e quais são as suas vantagens, desvantagens e limitações. Como se observa, também em automação residencial, o distanciamento típico entre a indústria e a academia, abordaremos os contextos atuais da indústria e da academia, separadamente, nos itens 2.2 e 2.3.

2.1. Um breve histórico

Uma das primeiras grandes contribuições para automação residencial, como a entendemos atualmente, foi a invenção das máquinas elétricas de lavar roupas em 1908 [2]. Após isso, fora iniciativas isoladas, como os “detectores de palmas” e os “detectores de assovios”, que permitiam o ligamento e desligamento remoto de lâmpadas e eletrodomésticos, a história de automação residencial é uma composição intrincada das histórias de algumas tecnologias que com ela se relacionam (e.g. telefonia, rádio e televisão, *videogames*, controle pela alimentação de força de eletrodomésticos e de iluminação, segurança, micro-computadores e redes domésticas de computadores, etc.). Algumas dessas tecnologias, embora cruciais para o desenvolvimento da área, como telefonia, rádio e *videogames*, não contribuíram tanto quanto televisão, computadores pessoais, a Internet e controle pela alimentação de força (X10, por exemplo), que são considerados os blocos fundamentais da automação residencial [3].

Por quase trinta anos, a automação residencial tem se mantido como um conjunto de tecnologias pouco acessíveis à grande parte da população. De um modo geral, os mais ricos adquirem sistemas caros, projetados sob medida, e os adeptos do “faça você mesmo” compram aos poucos os

componentes no comércio e montam seus próprios sistemas. Grande parte do mercado encontra-se, no entanto, ainda intocada [4], onde a oferta consiste, predominantemente, de dispositivos independentes e auto-contidos, de usos específicos e providos de inteligências que não vão muito além de poderem ser acionados por temporizadores.

X10 talvez seja, das tecnologias mencionadas, a maior responsável pela lenta popularização que vem ocorrendo mais recentemente do segmento importante da automação residencial que é acionamento remoto e temporizado. Os fatos de se ter à disposição uma variedade grande de módulos X10, amplamente comercializada com diversas faixas de preço e em lojas em todo o mundo, certamente contribuem para isso.

Este cenário tende a mudar rapidamente em função da popularização da banda larga e das redes residenciais com e sem-fio e do advento de novas tecnologias de comunicação de dados, como ZigBee, e da conscientização da necessidade de se desenvolver mecanismos que provêm a interoperabilidade dessas tecnologias [4]. Com isso, novos fabricantes entram no mercado a cada dia, o que propiciará um aumento de oferta, a conseqüente diminuição dos preços e, fechando o ciclo típico, o aumento do consumo.

2.2. A indústria e as tecnologias disponíveis

De um modo geral, a maior parte da indústria se concentra no desenvolvimento de soluções para segurança, controle de temperatura, iluminação e distribuição de áudio e vídeo. Apenas uma pequena parte dela se concentra na busca de soluções realmente inovadoras e abrangentes para automação residencial, como eletrodomésticos inteligentes e colaborativos e/ou que envolvam robótica, por exemplo. Entretanto, são cada vez mais freqüentes as iniciativas de grandes empresas de telecomunicações, fabricantes de equipamentos eletrônicos, dentre outras, no sentido de projetarem e construir casas inteligentes. Essas iniciativas compreendem desde a construção de casas-conceito até a construção de conjuntos habitacionais completos [5].

Ao lado dos avanços atuais das tecnologias de microprocessadores, as tecnologias de infra-estrutura de comunicação de dados para usos residenciais vêm assumindo importante papel no desenvolvimento de dispositivos para automação residencial, pois permitem que os dispositivos microprocessados de automação se movimentem e interoperem, podendo atuar colaborativamente.

Nesse contexto, a indústria mantém investimentos para o desenvolvimento e estabelecimento de padrões de infra-estrutura de comunicação baseada nos já tradicionais cabos coaxiais (e.g. HomePNA[6], MoCA[7]) e em comunicação pela rede de alimentação (e.g. X10[8] e LonWorks[9]). Há a expectativa, no entanto, de uma forte tendência para a adoção de padrões de comunicação sem-fio (e.g. Wi-Fi[10], BlueTooth, ZigBee[11]), sendo esperado um salto em vendas de dispositivos de automação sem-fio de US\$ 1.1 milhões em 2005 para mais de US\$ 58 milhões em 2011, segundo a ABI (cf. [12]) e que, em 2010, dois terços dos dispositivos de controle serão sem-fio[13]. Em função da importância que essas tecnologias assumem nos contextos presente e futuro da automação residencial, faremos uma breve descrição de cada uma delas.

A *Home Phone Networking Alliance* (HPNA) é uma entidade que busca o estabelecimento de padrões para redes domésticas utilizando os cabos de telefonia e coaxiais já existentes nas residências. A tecnologia HomePNA, especificada pela HPNA, é relativamente nova e permite que se use, de forma compartilhada, os cabos telefônicos e coaxiais também para a conexão em rede de computadores, impressoras e outros periféricos, além de permitir acesso aos serviços prestados pelas companhias telefônicas e de TV e Internet a cabo. A possibilidade de uso de cabos coaxiais interoperando com cabos telefônicos só se deu a partir da versão 3.1 da especificação. Sem fins lucrativos, a HPNA é uma associação composta por mais de 150 empresas, incluindo Motorola, AT&T e Conexant, que assessora a ITU (*International Telecommunication Union*) na formulação dos padrões. As principais características da tecnologia são a possibilidade dos dispositivos em rede estarem distantes entre si em até cerca de 300m e comunicação em 320 Mbps. Como vantagens citamos a possibilidade de uso da infra-estrutura já existente para o estabelecimento de uma rede residencial, já que os cabos de telefonia e coaxiais existentes são usados para a transmissão de dados sem o prejuízo de suas funções originais e a compatibilidade com tecnologias sem-fio como Wi-Fi com o uso de *tranceivers*. Como desvantagens podemos citar a não disponibilidade típica, em número suficiente, de tomadas telefônicas e de vídeo e o pouco suporte à mobilidade.

Com características, vantagens e desvantagens semelhantes à HomePNA, a *Multimedia over Coax Alliance* – MoCA – desenvolve especificações para a implantação de redes domésticas de televisores, reprodutores de mídia e outros aparelhos voltados ao entretenimento, também utilizando os cabos coaxiais já existentes. A MoCA é um empreendimento sem fins lucrativos estabelecida em 2004 e composta de várias companhias ligadas ao comércio, eletrônica de entretenimento, telecomunicações e TV a cabo. Dentre elas encontram-se a Motorola, a Conexant, a Radio Shack e a Panasonic.

Ainda dentro dessa linha de transmissão de dados através de infra-estrutura já existente nas residências, X10 é a principal representante das tecnologias que usam os cabos de força residenciais, embora também o transporte de dados baseado em rádio-transmissão já faça parte do padrão.

Os primeiros conceitos de controle através dos cabos de força CA (ou PLC – *Power Line Communication*) foram desenvolvidos entre 1975 e 1978 por engenheiros da Pico Electronics no centro de projetos X10 na Escócia. Com X10 a informação digital é codificada em uma portadora de 120 kHz que é transmitida durante os “zeros” das ondas da corrente alternada de 50 ou 60 Hz. Um bit é transmitido em cada zero da onda. A informação digital é enviada de um dispositivo controlador para o dispositivo controlado e consiste de um endereço de destino e de um código de comando a ser executado. Consultas sobre o status de um dispositivo e a correspondente resposta são também possíveis para dispositivos mais avançados. O número máximo de dispositivos endereçáveis na rede (vários dispositivos podem ter o mesmo endereço) é 256. Todas as mensagens são enviadas duas vezes para se reduzir falsos sinais. As taxas efetivas de transmissão (após controles de linha, retransmissão, etc.) ficam em torno de 20 bits por segundo, o que limita o uso da tecnologia em aplicações bem simples, como liga e desliga de eletrodomésticos, por exemplo. Os dispositivos (existem inúmeros disponíveis no mercado) podem ser soquetes de lâmpadas, interruptores onde podem ser ligados os eletrodomésticos, sensores, dentre outros.

Nos anos 80, X10 integrou em sua especificação as tecnologias de controle remoto por RF e infravermelho em seus sistemas. Com isso tornou-se possível a comunicação sem-fio entre unidades controladoras ligadas à rede CA, que operam como *bridges*, e dispositivos remotos. Hoje X10 trabalha em novas frequências de rádio tais como 2,4 e 5,8 GHz para transmissão de vídeo e 433 MHz para comunicação com os demais dispositivos.

O protocolo X10 é aberto e usado em produtos de vários fabricantes em todo o mundo. É a tecnologia campeã de vendas e, como já mencionamos, a principal responsável até agora pela popularização da automação residencial.

Como desvantagens do X10, além da limitação do número de dispositivos na rede e da baixa taxa de transmissão de dados, há a necessidade do uso de repetidores para que os sinais se propaguem pelas diferentes fases de uma residência e do uso de filtros para se evitar interferências entre residências e para se atenuar os ruídos causados por motores de escova, fornos de micro-ondas, dentre outros, problemas esses típicos das tecnologias PLC [14].

A tecnologia *Local Operating Network* (LON) da Echelon [9] torna possível projetar-se, instalar-se e configurar-se dispositivos inteligentes que se comunicam entre si para formar sistemas de automação residencial e industrial e de controle em prédios comerciais, dentre outros. Uma LON consiste de dispositivos (nós) cujas “inteligências” são providas por *chips* Neuron que possuem três processadores de 8 bits, dois deles processando o protocolo e o outro, programável na linguagem Neuron C derivada do ANSI C, processando a aplicação do nó. Os nós são entendidos como unidades que recebem estímulos de entrada (que podem ser mensagens de outros nós) e atuam, de forma distribuída e coordenada, de acordo com suas especializações [15]. Os nós se comunicam diretamente como o uso do protocolo LonTalk que opcionalmente inclui a confirmação de recebimento de mensagens e re-envios automáticos das mesmas nos casos de erros. O protocolo suporta a comunicação através de vários *canais* (meios físicos de transporte): par trançado, linhas CA, cabos coaxiais, fibra ótica e RF, para os quais há *tranceivers* específicos disponíveis no mercado. A tecnologia divide o espaço de endereçamento dos nós em sub-redes (com até 127 nós) e domínios (com até 255 sub-redes). As taxas de transmissão variam de 4,88 kbps a 1250 kbps, dependendo do tipo de meio físico [16][17].

Nas tecnologias atuais de comunicação de dados para automação residencial identificamos um importante diferencial das tecnologias de redes sem-fio em relação às que utilizam PLC no que diz respeito à mobilidade. Elas têm Wi-Fi como sua mais popular representante. A *Wi-Fi Alliance*, criada em 1999, é a organização sem fins lucrativos que licenciou a marca Wi-Fi com o objetivo de descrever a tecnologia para redes locais sem-fio (WLANs) baseada no padrão 802.11 do IEEE para prover, com segurança, mobilidade e interoperabilidade de dispositivos móveis. Hoje a *Wi-Fi Alliance* tem mais de 250 empresas-membros em todo o mundo e mais de 2500 produtos receberam a certificação Wi-Fi desde o início do processo de certificação ocorrido em 2000 [18]. Dispositivos providos de interfaces Wi-Fi (PCs *desktops*, *laptops* e *palmtops*, etc.) podem se conectar à Internet e/ou entre si quando dentro de *hotspots* providos por pontos de acesso. A composição de um ou mais pontos de acesso pode definir *hotspots* correspondentes a áreas desde pequenos ambientes até quilômetros quadrados. A tecnologia de pontos de acesso tornou-se de tão baixo custo a ponto de poder ser viável seu uso em residências, para conexão entre computadores *desktops*, *laptops*, câmeras digitais, telefones, dentre outros, fazendo com que interfaces Wi-Fi sejam incorporadas em qualquer dispositivo eletrônico onde a mobilidade é desejada. Como vantagens da tecnologia citamos a disponibilidade da interface em quase todos os equipamentos de computação mais modernos, a padronização que permite o uso desses equipamentos em todo o mundo, a já existência de *hotspots* em aeroportos, rodoviárias, universidades, hotéis, cafés, etc., em todo o mundo e a existência de mecanismos da própria tecnologia que permitem a comunicação segura. Como desvantagens do uso de Wi-Fi para uso residencial citamos o relativamente alto consumo de energia por parte dos dispositivos móveis (clientes), quando comparada a outras tecnologias sem-fio como Bluetooth e Zigbee (ver adiante), possibilidade de interferência não intencional de redes vizinhas ou de outros equipamentos como fornos de micro-ondas, telefones sem-fio, etc, possibilidade de intrusão, quando não são tomadas medidas de segurança, e um alcance limitado, de cerca de 45 metros dentro do prédio e de 90 metros ao ar-livre.

BlueTooth é outra tecnologia para comunicação sem-fio muito popular, composta de um padrão de rádio projetado para baixo consumo, pequeno alcance e utilizando *chips transceivers* de baixo custo. Redes baseadas na tecnologia BlueTooth, as chamadas *piconets* ou PANs –*Personal Area Networks* - enquadram-se na categoria de redes *ad hoc* por se formarem quando até oito dispositivos, incluindo o dispositivo que assume o papel de *master*, se encontram, em determinado momento, a uma certa distância (de 1 a 100m, dependendo da classe) um do outro. Até outros 255 dispositivos podem estar “estacionados” na rede, podendo ser ativados a qualquer momento pelo dispositivo *master*. A comunicação pode ser feita de forma segura entre o dispositivo *master* e um ou mais outros dispositivos da *piconet*. O papel de *master* pode ser trocado a qualquer momento com qualquer outro nó da rede. Duas desvantagens dessa tecnologia são a taxa de transmissão reduzida, que varia de 1000 a 3000 kbps.e o pequeno alcance.

A *ZigBee Alliance* é uma associação de empresas que trabalham para viabilizarem a criação de dispositivos de monitoramento e controle baseados em padrões globais abertos e que sejam confiáveis, de baixo consumo, conectáveis através de redes sem-fio e a custo razoável [11]. A especificação ZigBee consiste de uma suíte de protocolos de comunicação digital via rádio, baseada no padrão IEEE 802.15.4 para uso em redes pessoais sem-fio (WPLANs). Ao contrário de tecnologias para PANs, como por exemplo BlueTooth, dispositivos ZigBee têm a capacidade de formar redes em malhas (*meshes*), onde cada elemento estabelece ligações com os demais elementos de sua vizinhança. Uma rede ZigBee pode conter mais de 65000 dispositivos ativos e cada dispositivo pode operar por anos com uma pilha AA, já que o consumo de energia é baixo (vide tabela 1). Existem três categorias de nós ZigBee: o nó coordenador da rede, que automaticamente inicia a formação da rede; o nó roteador, que junta grupos de nós e ajuda a disseminar as mensagens, podendo se associar a nós dispositivos e a outros nós roteadores; e nós dispositivos (*end devices*), que são os sensores, atuadores, monitores, *switches*, *dimmers* e outros dispositivos controladores. Pelo fato das redes ZigBee formarem malhas, uma de suas vantagens em relação às redes ponto-a-ponto é o grande alcance, apesar do pequeno alcance de cada nó, individualmente. A explicação para isso é que cada nó transmite aos seus vizinhos as mensagens que recebe. Também por esse fato a confiabilidade é maior, já que há mais caminhos possíveis entre quaisquer dois nós. As baixas taxas de transmissão, tipicamente abaixo dos 100 kbps, restringem o uso da tecnologia a um número reduzido de aplicações, como sensoriamento e comando remoto em instalações residenciais e industriais, por exemplo.

As tecnologias sem-fio compartilham ainda a vantagem de não necessitarem de instalação de infraestrutura física de comunicação, permitindo o estabelecimento de redes onde a instalação de cabos é difícil, cara ou proibida e onde a mobilidade é necessária.

A tabela 1 adiante resume as principais características das três tecnologias sem-fio de que tratamos acima.

Tabela 1 – Uma comparação entre os três padrões mais comuns de tecnologias de comunicação sem-fio (extraída de [17][19]).

Padrão (Nome de mercado)	802.15.1 (Bluetooth)	802.11b (Wi-Fi)	802.15.4 (ZigBee)
Foco de aplicação	Eliminação de cabos	Web, email, video	Controle e monitoramento
Largura de banda (Kbps)	1000-3000	11000	20-250
Alcance (m)	20 (Classe 2) 100+ (Classe 1)	100+	20-70, 100+ (amplificador externo)
Numero máximo de nós	7	32	2*64
Duração da bateria (dias)	1-7	0.5-5	100-1000+
Consumo (transmissão)	45mA (Classe 2) <150mA (Classe 1)	300mA	30mA
Adequação a ciclos esparsos de operação	Pouca (demanda muito tempo para conexão)	Pouca (demanda muito tempo para conexão)	Boa
Memória necessária (código e contexto) (KB)	50+	70+	40
Pontos fortes	Custo, conveniência	Velocidade, flexibilidade, disponibilidade	Potência, custo, baixo consumo

As aplicações de monitoração remota através de conexão por linha discada, disponíveis desde o final dos anos 90, popularizaram-se com a Internet em banda larga e a telefonia móvel. Estas, por sinal, vêm abrindo espaço para novas aplicações de automação residencial, na medida em que permitem a monitoração e controle remotos (em nível mundial) a custos cada vez mais baixos. Os produtos comerciais competem em preço e em recursos; aplicações para monitoração remota, por exemplo, são vendidas, juntamente com o *hardware* necessário, por algumas centenas de reais nos principais mercados virtuais do Brasil. Os computadores, que outrora comandavam dispositivos de liga-desliga, de controle de temperatura, iluminação e som através de interfaces PLC, agora servem também como *gateways* para seus acionamentos remotos e transmissão de alarmes, via Internet.

2.3. As pesquisas acadêmicas

Como tipicamente acontece, a pesquisa acadêmica em automação residencial também se coloca adiante do que indústria produz e comercializa. É a nossa percepção que a área de automação residencial pode se beneficiar dos resultados das pesquisas em outras importantes áreas da Tecnologia da Informação, tais como computação ubíqua, redes de sensores (inteligentes), reconhecimento de padrões e inferência de volumes em imagens, além das pesquisas nas áreas correlatas de mobilidade e redes *ad-hoc*, sistemas multi-agentes, mecanismos para integração de ambientes heterogêneos e coordenação e controle de processos distribuídos (gerência de *workflows* distribuídos). Percebemos também que essa interdisciplinaridade abrirá espaço para o desenvolvimento de sistemas de *software* e criação de muitas outras oportunidades profissionais. Essas linhas de pesquisas, juntamente com os resultados mais relevantes para automação residencial, serão descritos no item 4. Antes, porém, delinearemos alguns cenários interessantes de automação residencial.

3. IDENTIFICANDO NOVAS NECESSIDADES

São inúmeras as descrições de cenários ideais em automação residencial encontradas na literatura e na Internet. Boa parte deles se coloca bem adiante de nosso tempo ou é acessível a poucos. Outra pequena parte dos cenários descritos trata de residências-conceito sendo projetadas e construídas por fabricantes de produtos de eletrônica de consumo.

Em [5] encontramos a descrição dos recursos de automação disponíveis a moradores de um conjunto residencial na Coréia do Sul. Nesse caso os dados de controle são enviados através dos fios (PLC),

necessitando que os dispositivos controlados sejam compatíveis com a tecnologia de automação HomeNet, que foi escolhida pelos projetistas. O controle dos dispositivos é feito através de um painel central e o sistema também provê controle de consumo de eletricidade, gerência de mensagens, visualização da câmera de vídeo do porteiro eletrônico e dos estados dos dispositivos de automação através da televisão.

No final do citado artigo é feita uma prospecção do futuro, delineando alguns recursos desejáveis como localização automática de cada morador dentro do apartamento, comando por voz ou através de dispositivos móveis, como relógios de pulso, controle de abertura e fechamento de portas, acionamento automático de lâmpadas, controle dos gêneros disponíveis na despensa e na geladeira, com a possibilidade das mesmas fornecerem sugestões e receitas de refeições que poderiam ser preparadas com eles, etc.

Permitimo-nos propor algumas flexibilizações para o cenário existente no conjunto habitacional sul-coreano e estender as prospecções futuristas descritas no artigo.

Seria muito interessante (para não dizer fundamental) que tecnologias de automação distintas pudessem ser integradas ao ambiente e pudessem ser descritas de forma transparente para o usuário, ou seja, deveria ser possível adquirir-se equipamentos (eletrodomésticos, eletrônicos, utilidades, etc.) que, além de possuírem suas inteligências específicas, pudessem se “anunciar” aos demais equipamentos/dispositivos do ambiente através de um protocolo comum a todos. Ainda, a partir daí, pudessem interoperar automaticamente com eles, cada um dentro de sua “especialidade”, independentemente do seu fabricante.

Por exemplo, a panela inteligente do fabricante A (já existem panelas assim: vide figura 3 em [1]), quando colocada sobre a grelha do fogão do fabricante B, poderia solicitar ao fogão o acendimento do fogo, a ser mantido pelo tempo e intensidade adequados para a preparação do alimento (conforme a especialização da panela ou programação do cozinheiro). Ao final do tempo de preparação, ela poderia enviar mensagem de fim de preparo para o eletrodoméstico programado para dar continuidade à atividade. Este poderia ser, por exemplo, um gerenciador de mensagens que estaria encarregado de informar ao usuário o final da operação através de uma mensagem na TV, no celular ou no relógio de pulso, dependendo de onde o usuário se encontrasse, dentro ou fora da residência. Poderia ser, também, um “assistente de culinária” que, no início da preparação da refeição, sabendo da existência da panela no armário, a teria indicado para o usuário e a teria programado previamente.

Seria importante, também, que os serviços prestados pelos diversos dispositivos se acoplassem automaticamente aos painéis de controle (ou aos diversos assistente especializados), para serem vistos e programados por seus usuários segundo uma visão integrada, independentemente de suas tecnologias e fabricantes. Ainda, teríamos a possibilidade de adquirir e programar dispositivos especializados para atuarem como coordenadores de processos que envolvessem a execução colaborativa de atividades de outros dispositivos. Os coordenadores saberiam identificar, dos dispositivos disponíveis, quais seriam os necessários para determinada tarefa, e ativar, programar, coordenar suas operações e desativar os mesmos ao final.

Haveria microprocessadores instalados em todos os aparelhos elétricos e eletrônicos, dotando cada um de inteligência específica e permitindo que se comunicassem entre si e que fossem ligados, desligados ou tivessem seus estados inquiridos remotamente. Alguns eletrodomésticos, como enceradeiras, vassouras e aspiradores de pó, poderiam se locomover pelos cômodos da casa, coordenados e programados pelos tais dispositivos coordenadores.

As visões descritas nesse item são, em tese, realizáveis já nos dias de hoje através de tecnologias de transmissão de dados que mencionamos no item 2 e dos resultados das pesquisas em outras áreas da Ciência da Computação que discutiremos no item que se segue.

4. TECNOLOGIAS QUE AGREGARÃO VALOR À AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

As tecnologias de transmissão de dados sem fio para redes pessoais (*wireless personal area networks* - WPANs) sucedem às tecnologias de comunicação através dos cabos de força (PLC) tradicionalmente usadas em automação residencial. Elas são o ponto de partida para uma nova onda na área, pois provêem a infra-estrutura adequada de comunicação de dados para preencher uma

lacuna importante nesse contexto: mobilidade. A partir dessa infra-estrutura podemos conceber as aplicações que atenderão às necessidades identificadas no item 3 agregando alguns resultados importantes já obtidos pelas pesquisas em Ciência da Computação, que passamos a descrever.

4.1. Computação ubíqua

Mark Weiser [20] iniciou a área de computação ubíqua (*ubicomp*, também chamada de computação *pervasiva*), estabelecendo o conceito de pessoas e ambientes ampliados por recursos computacionais que provêem informação e serviços quando e onde estes são desejados [21]. Trata-se da computação onipresente (que está em toda a parte) que deverá integrar os ambientes inteligentes no futuro. Computação *pervasiva* é uma realidade cada vez mais próxima em função (1) dos custos decrescentes, baixo consumo, tamanho reduzido e grande poder de processamento dos microprocessadores, (2) capacidade de armazenamento cada vez maior dos módulos de memória e (3) conectividade através das redes sem-fio, cada vez mais populares. Microprocessadores já estão sendo instalados em roupas e acessórios de vestuário, podendo acompanhar seus usuários onde quer que vão. Equipamentos para usos domésticos irão processar código e armazenar estados de execução, sendo providos de inteligências específicas para cumprimento de suas funções com eficiência e autonomamente. Sejam instalados em eletrodomésticos ou em roupas e acessórios de vestuário, os processadores poderão interagir com os ambientes onde se encontram, alterando os estados dos ambientes ou, reciprocamente, recebendo informações dos mesmos e alterando os estados dos eletrodomésticos ou transmitindo estímulos físicos aos seus usuários. A localização de um usuário ou equipamento em determinado ambiente poderá ser feita pelas redes de sensores inteligentes colocadas nesses ambientes e usando técnicas de triangulação, medidas de proximidade ou análise de cenas ([22][23]) ou, ainda, de anúncio e de descoberta de serviços em redes *ad hoc* (vide item 4.3).

As oportunidades que essa área oferecerá serão resultantes dos avanços tecnológicos necessários para se construir ambientes de computação *pervasiva*. Esses avanços se enquadram em quatro grandes áreas [24]: redes, dispositivos, *middleware* e aplicações. A figura 1 ilustra como redes, *middleware* e aplicações podem se organizar segundo uma arquitetura em três camadas dentro dos dispositivos.

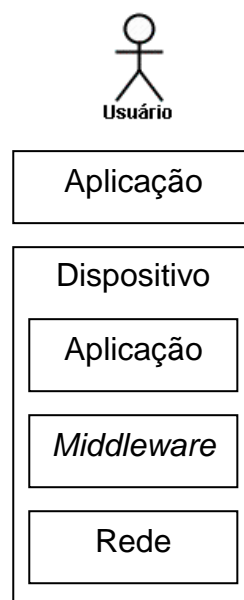


Figura 1 – Camadas de *software* que compõem os dispositivos.

Como já mencionamos, presume-se que o desenvolvimento das redes residenciais esteja associado ao desenvolvimento de redes sem-fio que tenham capacidade para interconectar de dezenas a milhares de dispositivos, já que entendemos que mobilidade e a ubiqüidade serão características importantes no contexto da automação residencial no futuro. Nessa área (redes), conforme já vem acontecendo, cremos que consórcios de empresas de telecomunicação e eletrônica estarão empenhados na definição de padrões e protocolos para os quais buscarão aceitação ampla com

vistas à diminuição dos problemas de interoperabilidade. As oportunidades surgirão da necessidade de se produzir *chipsets* para processamento dos protocolos de comunicação que serão embarcados nos dispositivos.

Os dispositivos são os componentes necessários para entrada e saída de dados, como telas sensíveis ao toque, dispositivos móveis como relógios de pulso, *palmtops* e celulares, redes de sensores localizados em pisos, portais, assentos em sofás, etc., centros de controle programáveis (controlarão outros dispositivos), dispositivos mediadores (vistos adiante) e utilidades do lar como eletrodomésticos, equipamentos de vídeo e áudio, trancas, relés, bocais, interruptores e *dimmers* inteligentes, dentre outros. Os dispositivos processarão código, tanto para realizarem suas próprias funções, como para estabelecerem e manterem as conexões de rede e processamento dos protocolos. Haverá muito espaço para a criação e produção de dispositivos de todos os tipos e, com isso, para o desenvolvimento do *software* a ser embarcado nelas.

O *middleware* entre a camada de aplicação e a de rede objetiva a encapsulação das funções da camada de rede, provendo à camada de aplicação uma API que independe do *firmware* que realiza as operações de acesso à rede. Com isso, o fabricante do dispositivo pode adaptar mais facilmente a aplicação a outros *chips* de camada de rede. Outra função importante dessa camada é implementar o protocolo que permitirá que os dispositivos possam interagir entre si segundo um padrão (aberto) para tornar possível a comunicação entre dispositivos de diferentes fabricantes. O item 4.3 discute uma das possibilidades de padronização dessa interface.

A figura 1 ilustra ainda a camada de *software* necessária para a realização da interface entre os dispositivos e os usuários, caso os dispositivos possam ser comandados diretamente pelos usuários, e não exclusivamente por outros dispositivos. Essa camada, externa aos dispositivos, pode ser um navegador *web* ou uma aplicação dedicada.

4.2. Vigilância eletrônica

Vigilância eletrônica com monitoramento a distância é uma realidade já presente, com inúmeras soluções de baixo custo disponíveis baseadas em PCs. Os produtos comerciais competem em preço e em recursos sofisticados, como envio de alarmes e imagens para os celulares e assistentes digitais pessoais (PDAs) de seus usuários através do mundo. As pesquisas atuais voltam-se para o desenvolvimento de algoritmos sofisticados de detecção e acompanhamento de movimento, reconhecimento de padrões e formas, inferência de volumes e rastreamento de movimento. Essas pesquisas, embora até hoje com fins eminentemente bélicos de “monitoramento por satélites”, tenderão a beneficiar a segurança e a automação residencial, não só contarão com o uso de sensores para a detecção de intrusão e dispositivos de entrada, mas também com o uso de câmeras de baixo custo, que já acoplam os serviços de provimento de páginas HTML e difusão de vídeo através de redes IP sem-fio.

Com esse objetivo estão sendo feitos estudos de reconhecimento de formas humanas, detecção e acompanhamento de movimentos (e.g. [25][26][27][28]) que poderão auxiliar, por exemplo, na assistência a deficientes físicos em suas movimentações pelos ambientes ou através de gestos.

Essa área se abre para o desenvolvimento de inúmeras aplicações em automação residencial que incorporarão as novas técnicas sendo pesquisadas.

4.3. Arquiteturas orientadas a serviços e anúncio/descoberta de serviços em redes *ad hoc*

Um serviço é uma entidade que pode ser usada por uma pessoa, programa ou outro serviço. Um serviço pode ser uma computação, um espaço ou sistema de armazenamento, um canal de comunicação, um dispositivo de *hardware*, ou outro usuário [29].

Arquitetura orientada a serviços (SOA – *Service Oriented Architecture*) é um estilo de arquitetura de *software* onde as funcionalidades de uma aplicação são apresentadas às aplicações-cliente na forma de serviços a serem executados remotamente. Serviços *web* se enquadram nessa definição. Nesse caso, as mensagens de solicitação de serviços enviadas pelas aplicações-cliente à aplicação que provê os serviços são textos XML. As mensagens devem se enquadrar no padrão *anunciado* pela

própria aplicação que executará o serviço. Serviços *web* são definidos, portanto, como auto-descritivos, já que dispõem de um protocolo que permite que a aplicação-cliente obtenha a descrição de como fazer as chamadas aos serviços prestados. Serviços *web* encapsulam as formas como são implementados e os ambientes operacionais sobre os quais operam, tornando-as transparentes do ponto de vista das aplicações-cliente.

Redes *ad hoc*, conforme definido em [30], são coleções de nós móveis reunidos em dado momento para a cooperação, sem a necessidade de intervenção ou ponto de acesso centralizado. Redes *ad hoc* caracterizam-se pela ausência de infra-estrutura física e pela interconexão dinâmica de seus nós. Além da necessidade de se dispor de um padrão de tecnologia de infra-estrutura de comunicação, é importante que seja definida uma interface padronizada de mais alto nível para que aplicações processando em dispositivos de fabricantes diferentes possam colaborar umas com as outras. Adicionando-se ubiquidade, mobilidade, autonomia e heterogeneidade das aplicações (o fogão e a panela do item 3) a esse cenário, verifica-se também a necessidade de que os dispositivos que entram ou que mudam de ambiente possam ter suas utilidades e funcionalidades automaticamente anunciadas ao novo ambiente, para que este possa fazer uso daqueles, e para que os dispositivos possam obter do ambiente quais são as funcionalidades disponíveis.

Como podemos observar, as características apresentadas acima definem um super-conjunto das que consideramos importantes para os ambientes de automação residencial do futuro. A tecnologia de serviços *web* é madura e pode inspirar o desenvolvimento de protocolos abertos para implementação no *middleware*, conforme ilustrado na figura 1. As técnicas de anúncio e descoberta de serviços em redes *ad hoc*, que comporiam a camada de aplicação dos dispositivos, evoluem rapidamente com as pesquisas em nível de mestrado e doutorado nessas áreas, conforme podemos comprovar em [31] e [32].

4.4. Sistemas de gerência de *workflows*

Por fim, como ocorre em sistemas distribuídos compostos por nós fracamente acoplados, os usuários dos sistemas de automação residencial precisarão operar de forma integrada a rede de dezenas a centenas de dispositivos de automação instalados em suas residências. Além disso, será necessário que os dispositivos (inter)operem de forma coordenada quando for necessária a execução de tarefas colaborativas. Na medida em que o número de dispositivos que participam das colaborações cresce, a tarefa de coordenação torna-se particularmente difícil. Nesse caso, as tecnologias e técnicas de gerência de fluxos de trabalho (*workflows*) poderão prestar ajuda importante à automação residencial do futuro, organizando automaticamente as tarefas de cada dispositivo em grafos de execução, em função da programação necessária, e permitindo a coordenação entre elas baseada na propagação dos eventos relevantes, como finais de execução, por exemplo.

Sistemas de Gerência de *Workflows* (SGWf) poderão compor a camada de aplicação de dispositivos coordenadores, como painéis de controle e assistentes especializados diversos.

Pesquisas em SGWf estão sendo conduzidas em universidades em todo o mundo, motivadas pela tendência de descentralização, especialização e autonomia das organizações modernas. Resultados nessa área podem ser encontrados em [33].

5. CONCLUSÃO

Neste artigo tratamos de automação residencial, fazendo um breve histórico dos avanços na indústria e relacionando tecnologias importantes disponíveis atualmente, apontando algumas de suas vantagens e desvantagens. Relacionamos, também, alguns resultados de importantes linhas de pesquisas em Ciência da Computação, discutindo como julgamos que cada um poderá contribuir ainda mais, em um futuro próximo, para o desenvolvimento de aplicações de automação para casas inteligentes. Essas áreas foram: computação ubíqua, vigilância eletrônica, arquiteturas orientadas a serviços e coordenação de processos com o uso de sistemas de gerência de *workflows*.

Apresentamos alguns cenários aparentemente futuristas, porém perfeitamente realizáveis com as tecnologias disponíveis hoje em dia, bastando que, a partir de uma infra-estrutura adequada de comunicação de dados, reunamos as tecnologias e técnicas relacionadas no artigo.

Não abordamos as características mecânicas de dispositivos de automação, apenas as características funcionais e arquiteturas que podem ser usadas para a organização lógica e implementação do *software* embarcado nos dispositivos.

Durante a elaboração do artigo percebemos a dificuldade de obter fontes de informação isentas e confiáveis sobre as tecnologias atuais. A área de automação residencial tem sido tratada com a visão mais imediatista do mercado, como uma disciplina única e não impulsionada conjuntamente pelas diversas visões da academia e da indústria.

Embora não tenhamos feito uma abordagem completa das tecnologias de infra-estrutura de comunicação de dados para automação residencial, ressaltamos que as tecnologias sem-fio apresentam inúmeras vantagens em relação às demais, por conta na mobilidade, que prezamos fundamental para o desenvolvimento de aplicações nessa área. Dentre estas, ZigBee apresenta um outro conjunto de características muito importantes dentro dos cenários de automação que delineamos: baixo consumo, número máximo elevado de nós da rede e escalabilidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COOK, D. G.; DAS, S. K. (2007) *How Smart are our Environments? An Updated Look at the State of the Art*, Journal of Pervasive and Mobile Computing.
- [2] ELSENPETER, R. C.; VELTE, T. J. (2003) – *Build Your Own Smart Home*, McGraw-Hill / Osborne.
- [3] <http://www.eddriscoll.com/timeline.html>, acesso em junho de 2007.
- [4] http://www.abiresearch.com/products/market_research/Home_Automation_and_Control, acesso em junho de 2007.
- [5] Smart homes: a reality in South Korea, http://www.aureside.org.br/noticias_recentes/default.asp?file=01.asp&id=194, acesso em junho de 2007.
- [6] HomePNA (2006) *No New Wires Hitting a Winning Triple-Play Home Networking Solution*, disponível em <http://www.homepna.org/en/index.asp>, acesso em junho de 2007.
- [7] <http://www.mocalliance.org/en/index.asp>, acesso em junho de 2007.
- [8] <http://www.x10.com>, acesso em junho de 2007.
- [9] <http://www.echelon.com>, acesso em junho de 2007.
- [10] <http://www.wi-fi.org>, acesso em junho de 2007.
- [11] <http://www.zigbee.org/en/index.asp>, acesso em junho de 2007.
- [12] <http://www.arm.com/iqonline/news/marketnews/14950.html>, acesso em junho de 2007.
- [13] <http://www.wirelessis.com/WirelessHA.pdf>, acesso em junho de 2007.
- [14] VARGAS, A. A. (2004) *Estudo sobre Comunicação de Dados via Rede Elétrica para Aplicações de Automação Residencial/Predial*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Projeto final de Graduação.
- [15] <http://www.ieclon.com/LonWorks/LonWorksTutorial.html>, acesso em junho de 2007.
- [16] ECHELON (1999), *Introduction to the LonWorks Syetem*, versão 1.0, document number 078-0183-01A.
- [17] Wu, S.; TSENG, Y. (2007) *Wireless and Ad Hoc Networking*, Auerbach Publications, Taylor & Francis Group.
- [18] http://www.wi-fi.org/knowledge_center/backgrounder, acesso em junho de 2007.
- [19] <http://wireless.industrial-networking.com/articles/articledisplay.asp?id=913>, acesso em junho de 2007.
- [20] WEISER, M. (1991); *The computer for the 21st century*. Scientific American 265, 3 (September), 94–104.
- [21] ABOARD, G. D.; MYNATT E. D. (2000); *Charting Past, Present, and Future Research in Ubiquitous Computing*. Disponível em <http://www-static.cc.gatech.edu/fce/ecl/publications/millennium-tochi2000.pdf>, acesso em julho de 2007.
- [22] Hightowe, J.; Borriello, G. (2001), *Location Systems for Ubiquitous Computing*, IEEE Computer.
- [23] Hightowe, J.; Borriello, G. (2001), *Location Sensing Techniques*, Technical Report, University of Washington, Computer Science and Engineering.
- [24] SAHA, D.; MUKHERJEE, A. (2003); *Pervasive Computing: A Paradigm for the 21st Century*; IEEE Computer.
- [25] BARRÓN, C.; KAKADIARIS, I. A. (2003), *A Convex Penalty Method for Optical Human Motion Tracking*, IWVS'03.
- [26] KANG, J.; COHEN, I.; MEDIONI, G. (2003), *Independent Motion Detection Directly from Compressed Surveillance Video*, IWVS'03.
- [27] CALDERARA, S.; CUCCHIARA, R.; PRATI, A. (2006), *Multimedia Surveillance: Content-based Retrieval with Multicamera People Tracking*, VSSN'06.
- [28] TABAR, A. M.; KESHAVARZ, A.; AGHAJAN, H. (2006), *Smart Home Care Network using Sensor Fusion and Distributed Vision-based Reasoning*, VSSN'06.
- [29] JINI (2006), *Jini Network Technology*, disponível em <http://www.sun.com/software/jini>, acesso em julho de 2007.
- [30] PERKINS, C. E., E BHAGWAT, P. *Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector routing (DSDV) for mobile computers*. In SIGCOMM '94: Proceedings of the conference on Communications architectures, protocols and applications (New York, NY, USA, 1994), ACM Press, pp. 234–244.

- [31] Augusto, C. H. P. (2007), *Arquitetura Robusta e Escalável para Descoberta de Serviços em Redes Ad Hoc*, dissertação de mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro
- [32] SUNDRAMOORTHY, V. (2006) *At Home In Service Discovery*, Tese de PhD, Universidade de Twente, Holanda.
- [33] PEREIRA, L. A. M. ; MELO, R. N. (2006), *Managing Interorganizational Workflows with TEAM*. First International Workshop on Coordination of Inter-Organizational Workflows: Agent and Semantic Web based Models (CLOW-2006), Hakodate, Japão.

Dados do Autor

Luiz Antônio de Moraes Pereira, DSc.
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio
Rua Marquês de São Vicente 225 - Gávea
CEP 22453-900 - Rio de Janeiro - RJ
Laboratório de Tecnologia em Banco de Dados - TecBD - Prédio do ITS
Telefone: (21) 3527-1500, ramais 3603/3604
e-mail: lpereira@inf.puc-rio.br
lpereira@uninet.com.br