

Testes de casas inteligentes para implementação de smart grid

Koen Kok e Cor Warmer, ECN (Holanda); Stamatios Karnouskos e Anke Weidlich, SAP (Alemanha); Jan Ringelstein, Fraunhofer IWES (Alemanha); Aris Dimeas, NTUA ICCS (Grécia); Stefan Drenkard, MVV (Alemanha); Nikos Hatzigiorgiouris e Valy Lioliou, PPC (Grécia)

A proposta do projeto SmartHouse/SmartGrid, aqui apresentado, é desenvolver uma arquitetura baseada em tecnologia de informação e comunicação, introduzindo um conceito holístico para casas inteligentes, consideradas dentro de um ambiente mais amplo, com várias unidades gerenciadas inteligentemente. Edifícios e residências atuam como consumidores pró-ativos: negociam e colaboram em rede e têm forte interação com o meio externo.



Gerenciador de energia instalado no interior da residência permite o deslocamento de cargas em resposta a sinais de preço de eletricidade

tribuirem com o gerenciamento de energia, através da rede inteligente, ao invés de constituírem unidades passivas, isoladas, na rede de energia.

O método baseado em TIC do projeto *SmartHouse/SmartGrid* introduz um conceito holístico e uma tecnologia para casas inteligentes, considerando sua localização dentro de um ambiente mais amplo, onde são gerenciadas de forma inteligente (figura 1). Este conceito considera os edifícios e as casas inteligentes como consumidores pró-ativos (*prosumers*) que negociam e colaboram atuando como uma rede inteligente em uma forte interação com o ambiente externo [7].

A motivação principal vem do fato de que o ambiente das casas e dos edifícios inteligentes inclui diversas unidades: consumidores de energia da vizinhança local (outras casas inteligentes), a rede de energia local, mercados associados disponíveis para comercialização de energia e serviços, além

Os edifícios comerciais e residenciais, incluindo aqueles conhecidos como Small Office/Home Office (Soho), juntos são responsáveis por mais de 50% do consumo de eletricidade da Europa. No entanto, o atual sistema elétrico não inclui a colaboração ativa de participantes como residências e edifícios. Isso limita enormemente a efetividade

dos esforços de gerenciamento de energia. Com o objetivo de atingir a sustentabilidade e a eficiência energética da próxima geração, é necessária a implementação de uma nova arquitetura das tecnologias de informação e comunicação (TIC) para redes inteligentes, baseada em casas inteligentes interagindo com as redes inteligentes. Tal arquitetura habilita as residências a con-

TERMINAIS KIT

Descubra as vantagens de tratar com um ESPECIALISTA

A KIT Acessórios é o único FABRICANTE do Brasil a oferecer soluções completas em acessórios.

REDES DO FUTURO

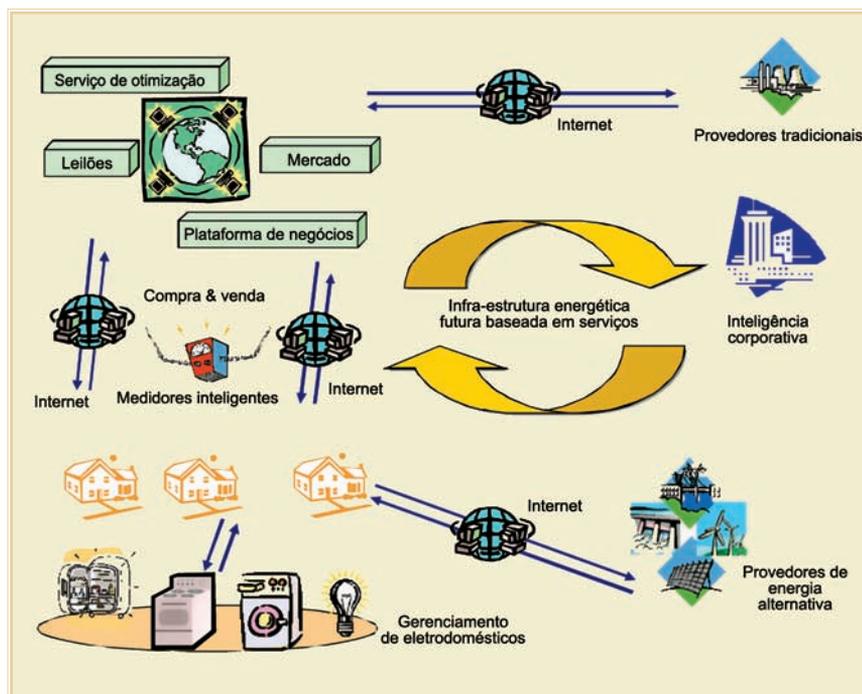


Fig. 1 – Ecossistema baseado em serviços e nas casas e redes inteligentes

dos produtores locais, tais como alguns tipos de recursos energéticos amigáveis sob o ponto de vista ambiental, como por exemplo, energia solar, microcentrais de co-geração, etc.

A arquitetura desse projeto é baseada numa combinação de inovações cuidadosamente selecionadas a partir de projetos recentes da área de TI e P&D sobre energia, os quais fazem parte pesquisas avançadas da Rede Inteligente Européia. Essas inovações incluem:

- Gerenciamento de energia na residência (*in-house*) baseado no *feedback* para o usuário, tarifas em tempo real, controle inteligente de eletrodomésticos e provisão de serviços (técnicos e comerciais) para os operadores da rede e fornecedores de energia [1, 2, 3].
- Arquitetura do software de agregação, baseada na tecnologia do fornecimento de serviços, a aglomerados de casas inteligentes, por atacadistas do mercado e operadores da rede [4, 5].
- Uso de arquitetura orientada para o serviço (SOA) e de acoplamento bidirecional com os sistemas corporativos, para a coordenação, em nível de sistema, da aquisição e avaliação dos dados de medição em tempo real [6].

Três experiências de campo inter-relacionadas validam e demonstram a arquitetura TIC nos ambientes residen-

ciais e comerciais. Os resultados experimentais preliminares mostram que as arquiteturas de rede e estratégias de controle recentemente desenvolvidas melhoram a eficiência energética e a eficiência do gerenciamento das redes de energia locais (por exemplo, melhoram os fatores de carga do sistema) e permitem a integração de um número maior de fontes de energia renovável com menor impacto das emissões de carbono.

Testes da arquitetura TIC

Os testes de campo A validam a agregação de casas inteligentes, envolvendo a participação de vários agentes, quanto ao aumento da eficiência energética e otimização do comércio de eletricidade utilizando tarifas variáveis em tempo real [5]. Adicionalmente, também é testada a troca de informação de tal sistema com os serviços das empresas (por exemplo, faturamento), envolvendo uma alta taxa de tráfego de dados (aproximadamente um milhão de consumidores).

Com o objetivo de testar a escalabilidade da arquitetura, a transmissão de dados de um conjunto de casas inteligentes da Holanda foi combinada com fontes de dados simuladas para atingir o tráfego de dados desejado.

www.kitacessorios.com.br

KIT
ACESSÓRIOS PARA CABOS ELÉTRICOS LTDA.
ALTA TECNOLOGIA

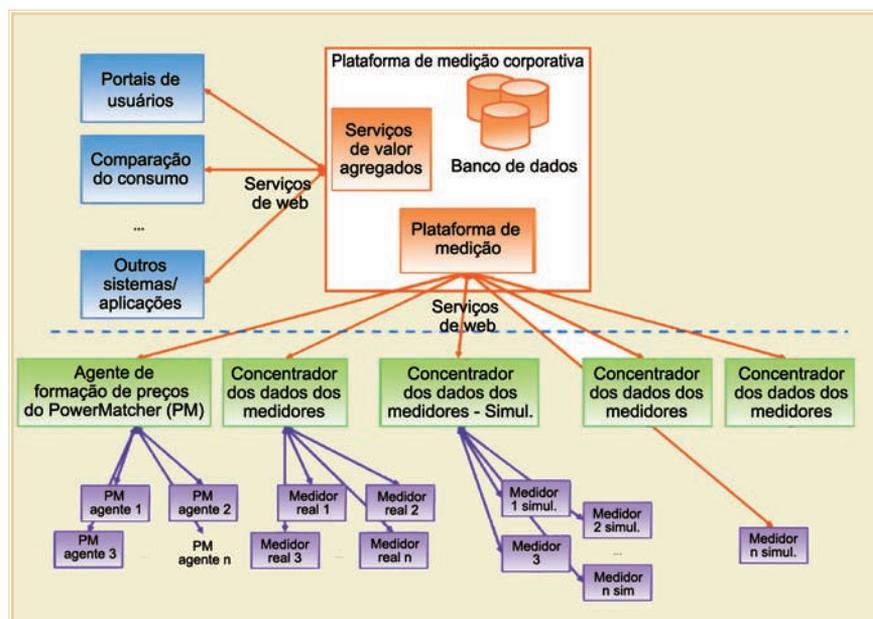


Fig. 2 – Integração entre os agentes e avaliação da medição inteligente

Configuração do teste de campo

O teste de campo implementa uma Usina de Energia (*Virtual Power Plant - VPP*) para fornecimento em tempo quase real, considerando uma escala de tempo desde alguns minutos até diversas horas. A tecnologia de redes inteligentes *PowerMatcher* (www.PowerMatcher.net) compõe a base da usina virtual. Esta tecnologia tem capacidade para otimizar um número elevado de pequenas unidades: geradores distribuídos, armazenamento de eletricidade e resposta à demanda.

Para obter a implementação em larga escala requerida, foram integradas residências existentes, mas também diversas outras cujo comportamento foi simulado através de hardware. Dessa forma, os simuladores foram construídos para diversos níveis e seu comportamento foi simulado, como, por exemplo, amplificando de forma não determinística os dados adquiridos no campo real, isto é, nas verdadeiras residências.

A arquitetura é conectada ao conjunto de casas inteligentes (*PowerMatchingCity*) localizadas em Hoogkerk, Holanda, conforme estabelecido no projeto Integral (www.integral-eu.com). Os sistemas dos usuários finais integrados na instalação de teste consistem em microcentrais de co-geração, bombas de

calor para aquecimento doméstico e eletrodomésticos cujo consumo de eletricidade é elevado. Para todos os sistemas, foi associado um software inteligente operando através de um *gateway* de dados residenciais programáveis. O software transmite as preferências de operação para o nível de agrupamento. As medições obtidas são submetidas a um serviço de medição usando a Internet, como ilustrado na figura 2.

Resultados preliminares e ensinamentos apreendidos

Os resultados experimentais obtidos até o momento indicam uma adaptação suficientemente adequada da infraestrutura controlada pelo sistema dos agentes, bem como uma interação eficiente com os sistemas comerciais. O software *PowerMatcher* apresentou um desempenho estável sob circunstâncias de aplicação em massa. Foi possível observar que a operação de uma usina de energia virtual e a coleta de dados de medição para uma tarifa em tempo real podem ser executadas através de uma infraestrutura TIC combinada. A primeira ação consiste numa tarefa de resposta rápida com faixa de banda baixa, enquanto a segunda envolve uma transmissão de dados de medição em larga escala para uma tarifa em tempo real com resolução na faixa de 5 a 10 minutos.

Adicionalmente, foi possível coletar resultados relativos ao desempenho do projeto, os quais mostram a escalabilidade e desempenho do sistema sob condições de aplicação em massa. De acordo com a referência [6], a medição de alta resolução relativa a diversos milhões de medidores pode ser suportada por um número limitado de concentradores e sistemas de gerenciamento de dados corporativos. Estamos seguros de que esses limites podem ser expandidos ainda mais, obtendo-se mais vantagens de uma melhor sintonia entre hardware e software, o que será interessante para os fornecedores de soluções comerciais.

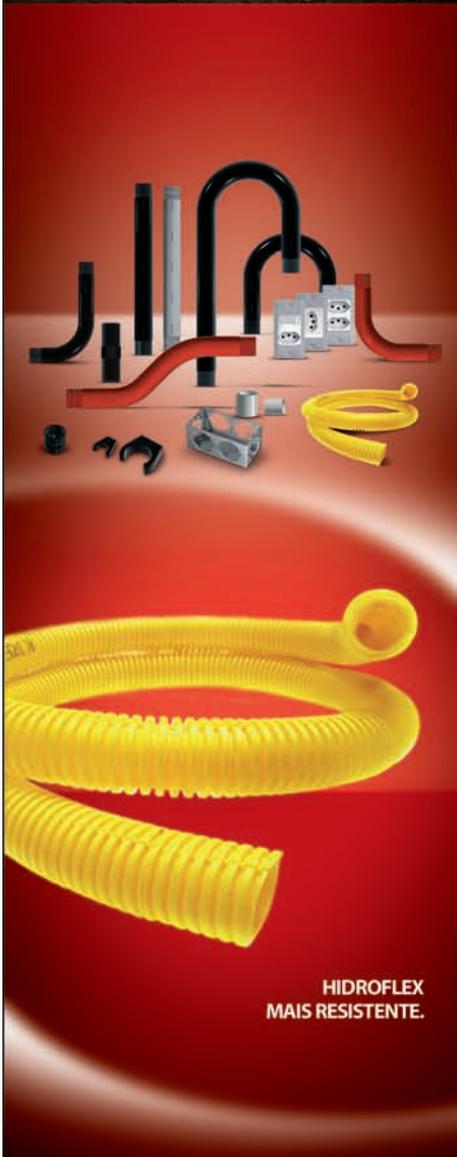
O principal desafio consistiu em integrar a infra-estrutura de gerenciamento em tempo quase real, requerendo uma transmissão freqüente, com restrição de tempo, de mensagens com largura de banda baixa; e uma infra-estrutura para medição de tarifas, gerenciamento de informações e faturamento variáveis, baseando-se na coleta de grandes volumes de dados numa base sem restrição de tempo, isto é, uma vez por mês. Ambas as áreas de aplicação exigem uma infra-estrutura confiável e robusta, que conecte as casas inteligentes com os sistemas das empresas, constituindo um elemento-chave das redes inteligentes.

Resposta automática aos sinais de preço

O teste de campo B tem como objetivo introduzir e testar um sistema para gerenciamento pelo lado da demanda baseado nos sinais de preço de eletricidade. Além disso, o teste verifica as possibilidades de deslocamento de carga em função dos incentivos de preços e gerenciamento automático de energia. Na cidade de Mannheim, Alemanha, um conjunto de aproximadamente 100 casas inteligentes participa do teste. Os consumidores privados recebem ofertas de tarifas variáveis de eletricidade baseadas no valor do dia seguinte (*day-ahead basis*). Essas tarifas vão incentivar o deslocamento de carga das cargas controláveis pelo usuário (por exemplo, lavadora de louça), e cargas não controláveis pelo usuário (*freezers*), que serão controladas automaticamente por um sistema

**SOLUÇÕES INTELIGENTES
QUE FACILITAM O TRABALHO
O RESULTADO COMPROVA A QUALIDADE**

Guestes



**HIDROFLEX
MAIS RESISTENTE.**

HIDROSSOL
ELETRODUTOS DE QUALIDADE

Rua Vereador Ariel Fragata, 274
Tel.: (14) 2105-0500
CEP 17539-000 - Marília/SP
www.hidrossol.com.br

REDES DO FUTURO

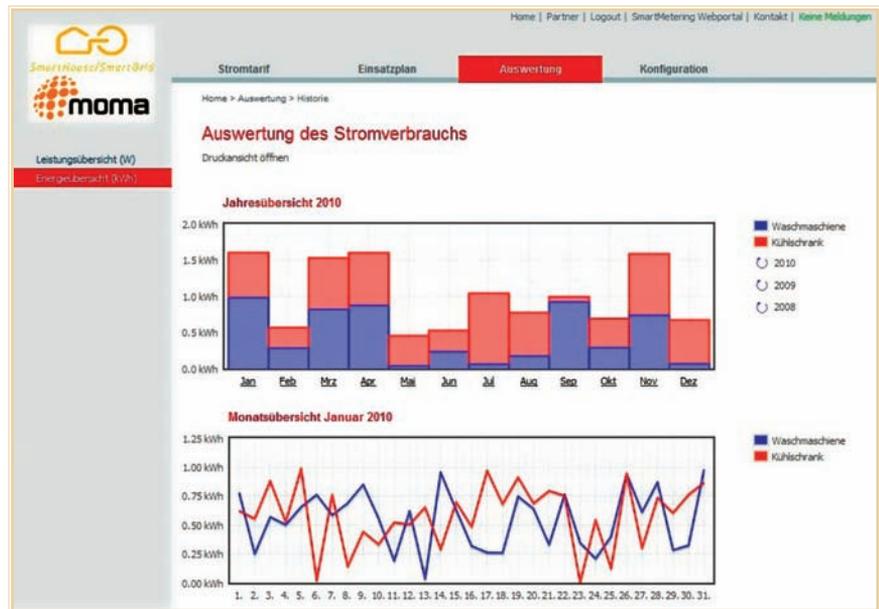


Fig. 3 – Informações do software no portal do consumidor

localizado na propriedade do consumidor. O usuário interage com o sistema através de um portal da *web* descentralizado (figura 3), podendo, portanto, mudar seu comportamento de consumo para reduzir a conta de energia. Por outro lado, o fornecedor de energia e o operador da rede usam o sistema para otimização da operação do fornecimento de eletricidade, como, por exemplo, maximizando a utilização das fontes de energia descentralizadas ou renováveis.

Configuração do teste de campo

As instalações de teste, em campo, incluem produtos na instalação do consumidor (*gateway* “Energy Butler”, componentes de comunicação e de controle), uma interface bidirecional de gerenciamento de energia, capaz de computar as tarifas de energia do dia seguinte, bem como vários servidores para agregar e distribuir as tarifas, os dados de medição dos consumidores, mensagens e atualizações para o gerenciamento do software do “Energy Butler”.

O *gateway* consiste de um PC incorporado com Linux, altamente otimizado para operação de baixa potência, rodando um *middleware* de fonte aberta, independente de fabricante, recentemente desenvolvido pela iniciativa Ogema (www.ogemallianve.org). O teste de campo continuará após a con-

clusão do projeto *SmartHouse/Smart Grid*, incorporado ao projeto alemão Modellstadt Mannheim (www.modellstadt-mannheim.de), visando a inclusão de mais de 1000 consumidores em um mercado eletrônico de energia de estrutura celular.

Resultados preliminares e ensinamentos apreendidos

Como o teste de campo começou recentemente, ainda não há resultados disponíveis da avaliação efetuada. Contudo, existem vários ensinamentos a serem apreendidos da própria fase de instalação. Em relação ao software, uma das conclusões mais importantes é que a infra-estrutura da Ogema, desenvolvida e testada no âmbito do projeto *SmartHouse/SmartGrid*, comprova ser uma base adequada para uma implementação flexível dos sistemas de gerenciamento de energia dos edifícios. Além disso, métodos para melhoria da infra-estrutura da arquitetura estão sendo atualmente usados num projeto adicional para uma implementação baseada na referência Ogema. Como exemplo, a interface do sistema de comunicação da próxima geração vai oferecer um suporte avançado das redes interligadas baseadas em nós, tal como a Z-Wave, que também é usada neste teste de campo B.

Uma característica exclusiva do teste de campo B é o fato de envolver

vários agentes orientados para obtenção de lucro no mercado desverticalizado. Uma lição importante disso é que o surgimento desses agentes (quando, no passado, só existiam as concessionárias) aumenta enormemente os problemas de mediação quando da implementação das redes inteligentes. No contexto do projeto, isso é resolvido pelas decisões do consórcio e gerenciamento do projeto. Entretanto, se considermos a implementação das redes inteligentes no mercado desverticalizado atual, tal consórcio terá de ser substituído por uma organização baseada em parceiros confiáveis inter-relacionados para mediação dos conflitos de interesse dos participantes; de outra forma, a implementação técnica será prejudicada. Por exemplo, a concessão de um bônus na tarifa para os consumidores, visando incentivar um deslocamento de carga para otimização do uso dos recursos da rede distribuidora, pode ser vantajosa para a distribuidora, mas não é atrativa para o provedor de energia atual. Em consequência, sem serviços técnicos fornecidos por esses dois agentes, a rede inteligente não vai ser bem-sucedida, o que é ruim para ambos.

Situações críticas da rede

O teste de campo C demonstra a capacidade de um sistema descentralizado lidar com situações críticas, como a transição para o modo de ilhamento ou o auto-restabelecimento (*black-start*). Além disso, ele demonstra a provisão descentralizada de serviços ancilares, tais como suporte para rejeição de cargas para alívio dos congestionamentos da rede. O teste de campo C é efetuado em Meltemi, um *camping* perto do mar, localizado 15 quilômetros a nordeste de Atenas, Grécia; o *camping* possui a estrutura de um *resort*, incluindo 170 cabanas usadas principalmente durante o verão. Devido ao tamanho reduzido de cada cabana, o consumo elétrico de cada uma é menor do que numa casa comum da Grécia; dessa forma, a estrutura elétrica (todas as casas são conectadas ao mesmo transformador MT/BT) da instalação torna-a ideal para efetuar os testes, especialmente em relação às situações

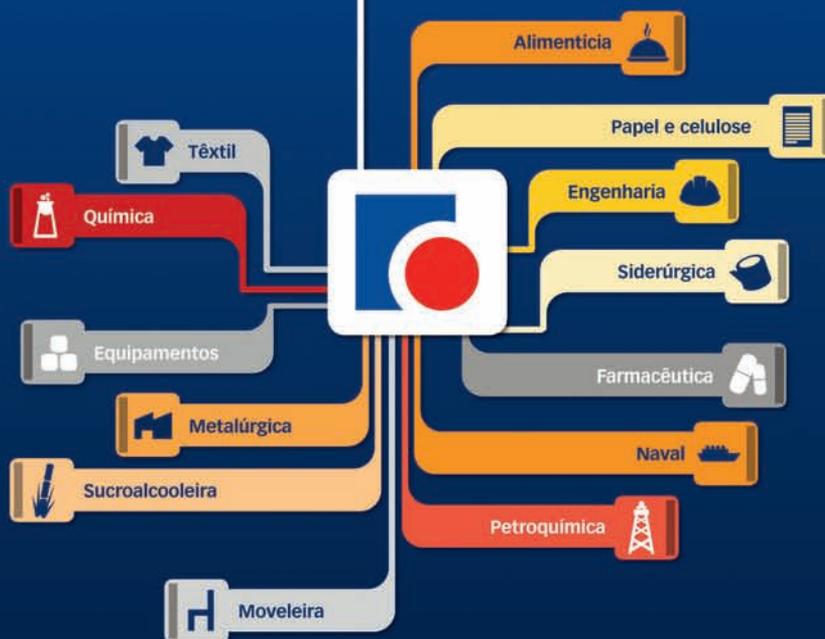
Carbinox.

Por dentro das operações de grande parte das empresas.

Divisão Inoxidáveis: Tubos, barras, chapas e cantoneiras.

Divisão Elétrica/Hidráulica: Eletrodutos rígidos e conexões.

Divisão Trading: Ligas especiais e super ligas.



Carbinox, vencedora do Prêmio Qualidade 2011.



As linhas de produtos Carbinox são fundamentais para grande parte das indústrias brasileiras há mais de 25 anos. A alta qualidade das soluções, as equipes de vendas especializadas e o moderno sistema de logística garantem os melhores resultados para o seu negócio.

Carbinox
www.carbinox.com.br
Matriz: 11 4795-9000
Filial: 62 3281-6191



críticas e de emergência da rede de elétrica. A instalação de um gerador diesel de 40 kVA e de painéis fotovoltaicos de 4,5 kW transforma o teste C de Meltemi numa plataforma de testes interessante em relação aos aspectos associados às microrredes.

Configuração do teste de campo

O sistema instalado em Meltemi possibilita que os geradores distribuídos, assim como as residências, negociem para decidir a próxima seqüência de ações. O sistema denominado Magic (*Multi-Agent Intelligent Control*) consiste num software baseado em Java que implementa os agentes inteligentes [4].

Um componente crítico é o controlador de cargas inteligente (figura 4), baseado num processador incorporado que roda Linux e monitora o estado de uma linha de energia elétrica, coletando medições de corrente, tensão e frequência. Ele é projetado para instalações internas e é equipado com um *display* para exibição direta das men-



Fig. 4 – O controlador de cargas inteligente usado pelo sistema Magic no teste de campo C

sagens para o consumidor. Além disso, é expansível, incluindo diversas portas seriais e uma porta USB, com capacidade não apenas para controlar, mas também para monitorar diversos eletrodomésticos dentro da casa. Os usuários têm acesso *on-line* às informações

sobre o estado do sistema, consumo e custos, não apenas no *display* do controlador, mas também através de um portal *web*. Estar informado consiste também numa parte crítica do sistema, uma vez que os moradores aceitarão sistemas autônomos de gerenciamento de energia somente quando perceberem a economia de energia obtida e os benefícios financeiros associados.

Resultados preliminares e ensinamentos apreendidos

Diversos ensinamentos foram apreendidos na instalação do teste de campo C. O principal deles refere-se à importância que o consumidor atribui ao fato de ser possível conhecer o consumo e desempenho de certos dispositivos. Outra lição indica que os preços de mercado também representam um fator importante. Considerando que atualmente eles são bem baixos na Grécia, os consumidores não vão prestar atenção aos ganhos de eficiência energética de tais sistemas. Em relação às situações críticas, o sistema respondeu corretamente a vários eventos; contudo, o

» TERMINAIS KLOK
O TERMINAL QUE MANTÉM A PRESSÃO

A INOVAÇÃO EM CONEXÕES ELÉTRICAS



Uma nova e inteligente opção para a ligação de equipamentos elétricos em sistemas de baixa e média tensão

» VANTAGENS DO TERMINAL KLOK

- Confiabilidade da conexão
- Redução de tempo de aplicação
- Redução nos custos de aplicação
- Produto reutilizável
- Redução de erros na execução da conexão
- Não necessita reaperto
- Ação de mola de compressão
- Facilidade na aplicação, sem a necessidade de ferramentas complexas

www.bluemedia.com.br

Rua Guaranesia, 811/815 - Vl. Maria 02112-001
São Paulo - SP Tel/Fax: 55 11 2971-2300

KRJ

www.krj.com.br

CONFIANÇA
uma conquista que só a qualidade pode alcançar.



- Áudio
- Automação
- Coaxiais
- Manga
- Especiais

PEKON CONDUTORES ELÉTRICOS
INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA

Telefax: (11) 3921-2711
www.pekon.com.br - vendas@pekon.com.br
R: Tenório Cavalcante, 7 A - São Paulo-SP

número total de casas participantes deve ser maior para permitir uma melhor validação dos resultados. Em consequência, simulações em larga escala serão efetuadas para avaliar os algoritmos, levando em conta o desempenho do sistema na instalação de teste real.

Conclusão

No âmbito do projeto *SmartHouse/SmartGrid* está sendo desenvolvido, implementado e submetido a testes de campo um novo método baseado em TIC para redes inteligentes, cujo princípio baseia-se em casas inteligentes interagindo com redes inteligentes. Suas principais diretrizes originam-se no método inovador baseado em: 1) *feedback* para o usuário final, 2) controle descentralizado automático da geração distribuída e resposta à demanda, e 3) controle para estabilidade da rede e ilhamento. Nos três testes de campo efetuados em três países, obteve-se um valioso *feedback* durante os processos de instalação, bem como avaliaram-se conceitos antevistos para a rede inteligente do futuro. O artigo

apresentou as experiências iniciais de cada teste de campo, as quais permitiram a validação de partes dos métodos e tecnologias adotadas. Em detalhes, os testes envolveram:

- Controle agregado automático dos sistemas dos usuários finais combinado com testes de troca de informações com os sistemas corporativos, envolvendo tráfego de grande volume de dados.

- Operação de um conjunto de casas inteligentes para melhorar a eficiência energética, a operação da rede e os custos do fornecimento de energia.

- Resposta de um conjunto de casas inteligentes a situações críticas para melhorar a segurança do fornecimento de energia.

Os resultados iniciais são promissores; contudo, eles revelaram diversos problemas que precisam ser adequadamente solucionados de forma a possibilitar uma ampla adoção das redes inteligentes, com o aproveitamento de todo o seu potencial.

Reconhecimentos: Este trabalho foi parcialmente financiado pelo projeto da UE "SmartHouse/

SmartGrid" (www.smarthouse-smartgrid.eu). Agradecemos a todos que contribuíram para o projeto e respectivos testes de campo, principalmente a: Sjaak Kaandorp, Pamela Macdougall, Gerben Venekamp, Barbara Dörsam, Andreas Kiessling, Britta Buchholz, Dejan Ilic, Per Gonçalves da Silva, Eleanna Hatzoplaki e George Katsaros. Além disso, agradecemos também aos parceiros PowerMatchingCity da ECN: Kema, Humiq e Essent.

Referências

- [1] Nestle, D.; Ringelstein, J.: *Bidirectional Energy Management Interfaces in distribution grid operation*, 3rd Int. Conf. on Integration of Renewable and Distributed Resources, 2008.
- [2] Roossien, B. e outros: *Virtual Power Plant Field Experiment using 10 Micro-CHP Units at Consumer Premises*, Cired SmartGrids Seminar'08, paper 86.
- [3] Herrmann, N. e outros: *Washing with the Sun: Results of a Field Test for the Use of Locally Generated Renewable Electricity and Load Shifting in Households*, Int. J. of Distributed Energy Resources, Vol. 4, Nº 4, 253-263.
- [4] Dimeas, A.; Hatzigiorgiou, N.: *Agent based control of Virtual Power Plants*, Proc. of Intelligent System Applications to Power Systems 2007, ISAP, 2007.
- [5] Kok, K. e outros: *PowerMatcher: multiagent control in the electricity infrastructure*, Proc. 4th conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems, ACM Press, industry track vol., 75-82.
- [6] Karnouskos, S.; Goncalves da Silva, P. e D. Ilic: *Assessment of High-performance Smart Metering for the Web Service Enabled Smart Grid*, ACM ICPE, 4-16 de março 2011, Karlsruhe, Germany, 2011.
- [7] Kok, K. e outros: *Smart Houses for a Smart Grid*, Cired 2009, Prague, Czech Republic, paper 751, 2009.

Trabalho apresentado no Cired 2011, realizado de 6 a 9 de junho, em Frankfurt, Alemanha.



Nossos produtos são produzidos na China e exportados pela COPPRAL CABLE & WIRE INDUSTRIES LTD. China, fornecedora de material em Qualidade Assegurada (Q.A.), ISO-9001 e certificações internacionais, operando no Brasil com fornecimentos regulares, desde 2003.

Para Telecomunicação suprimos o mercado com matérias-primas,
- Cabos Rg 6, 11, 59, acabados e semi acabados;
- Cabos LAN UTP 5e, 6, certificados TIA/EIA 568-B2

Alumínio : AA 5154 desde 0,12mm diam, 6201, 1350
Bimetálicos: Alumínio-Magnésio Cobreado, Aço Aluminizado,
Aço Cobreado: 21%, 30%, 33% e 40% IACS.
Fios e Cordoalhas Galvanizadas: Classe A e Classe B
Cabos CA, ASC, ACSR, AACSR, Isolados PE e XLPE, OPGW
Acessórios e Isoladores
Aços: Ferramentas, Molas e Forjados
Máquinas Industriais: Trefilas, Extrusoras,
Trançadeiras, Torcedeiras.

Nossa estrutura na China e no Brasil, permitem-nos atendimento imediato e eficaz:



BRASIL
Bancor Internacional Ltda.
Rua Doutor Zuquim, 1720 - 9º Andar.
02035-022 - Santana
São Paulo, SP - Brasil
Tel: (55 11) 2959 - 8228
Fax: (55 11) 2959 - 8228 Ext. 28

comercial@bancor.com.br



CHINA
Bancor of China Trade, Co. Inc.
Room No. 1602 Huize Park No. 65
Ganjinzi District, Dalian City
Liaoning Province
P.R. of China - ZIP 116022
Tel/Fax: + 86-411-86109679

cassie@bancor.com.cn



HONG KONG
Coppal Cable & Wire Industries Ltd
No. 1, Harbour Road
Suite 4305-6.43F
Office Tower, Convention Plaza
Wanchai - Hong Kong
Tel: +852-2887-2201 Fax: +852-2508-6591

bo.liu@coppral.com.hk

Nosso prazo médio de entrega em porto brasileiro é de 57 dias.