

هو العليم



دانشگاه زنجان

دانشکده‌ی فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق - قدرت

عنوان پروژه :

مکان یابی بهینه PMU ها و ضرورت کاربرد آنها در سیستم های قدرت هوشمند

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر رضا نوروزیان

گرد آورنده :

حسن مرادی

تابستان 92

تشکر و سپاس :

خداوند بزرگ و بلند مرتبه را شاکرم که به این بنده اش نظر رحمت داشته و در پرتو الطاف حضرت حق و توجهات حضرت ولی عصر (عج) ، به پایان تلاش و گوشش چندین ساله ام رسیده ام. خداوند علیم را

سپاسگزارم که به من علم خواندن و نوشتن آموخت و به درجه ای از آن رساند تا بتوانم به هم نوعان خود و بشریت خدمت کنم. امیدوارم بتوانم از دانشی که آموخته ام جز در راه مشروع و شرافتمندانه استفاده نموده ؛ و در راه خدمت به مردم و میهن اسلامی عزیز آنطور که شایسته مقام رفیع انسانیت است ؛ سعی و تلاش نمایم.

از خانواده ام سپاسگذاری می کنم که در تمامی مراحل زندگی پشت و پناه من بوده و معنای واقعی ایثار و فداکاری را به من آموختند.

از تمامی اساتید و معلمانی که در این مدت افتخار حضور در محضرشان را داشته ام که علم و وقتشان را اختیار بنده قرار داده اند کمال تشکر را دارم. از تمامی دوستان ، همکلاسیان ، دانشجویان و همه عزیزانی که مرا در رسیدن به اهدافم یاری دادند تشکر می کنم.

در پایان تشکر ویژه ای دارم از حضور **جناب آقای دکتر رضا نوروزیان** ، دانشیار محترم گروه مهندسی برق و انرژیهای تجدیدپذیر دانشگاه تهران ، که شاگردی ایشان افتخار بزرگی در زندگی برایم بود؛ و از درگاه خداوند آرزوی موفقیت و سربلندی روز افزون را برایشان دارم . همچنین از جناب آقای مهندس مهدی محمد قلیها و جناب آقای رضا عباسی به خاطر راهنمایی هایشان که مرا در انجام هر چه بهتر این پروژه یاری دادند ، کمال تشکر را دارم.

حسن مرادی

تابستان 92

سعدیا مرد نکونام نمیرد هر گز

مردہ آنست کہ نامش به نکویی نبرند

تقدیم به پدر مهندسی برق زنجان

آقای دکتر کاوه نظامی زاده

فهرست مطالب

1- چکیده

3- فصل اول : شبکه‌های هوشمند توزیع برق

1-1-1- مقدمه

1-2- شبکه‌های هوشمند

1-3- مزایای شبکه‌های هوشمند

1-3-1- کاهش زمان خاموشی مشترکین

1-3-2- قرائت خودکار دستگاه‌های اندازه‌گیری، زیرساخت‌های اندازه‌گیری پیشرفته

1-3-3- پاسخ به تقاضا یا مدیریت سمت تقاضا

1-4- منافع شبکه توزیع هوشمند برای مشترکین

1-5- بهینه‌سازی سرمایه

15- فصل دوم : بررسی ساختار و کاربردهای واحدهای اندازه‌گیری فازور PMU

2-1- مقدمه

2-2- تاریخچه‌ی واحدهای اندازه‌گیری فازور PMU

2-3- ساختار واحدهای اندازه‌گیری فازور PMU

2-4- تعریف فازور

2-5- بکارگیری GPS و همزمان سازی اطلاعات 21

2-6- انواع پیام ها در واحدهای اندازه گیری فازور PMU 22

2-7- روش های انتقال اطلاعات در واحدهای اندازه گیری فازور PMU 22

2-7-1- خطوط تلفن 22

2-7-2- کابل فیبر نوری 23

2-7-3- ماهواره ای 23

2-7-4- خطوط قدرت PLC 23

2-7-5- لینک های میکروویو 23

2-8- نحوه ی اندازه گیری فاز توسط واحدهای اندازه گیری فازور PMU 23

2-9- کاربردهای واحدهای اندازه گیری فازور PMU 25

2-9-1- محاسبه ی پارامترهای خطوط انتقال 29

2-9-2- تصحیح مدل سیستم 29

2-9-3- نمایش حرارتی خطوط انتقال 30

2-9-4- تخمین حالت 31

2-9-5- مطالعات امنیت و پایداری شبکه 32

2-9-6- رله گذاری تطبیقی 35

2-10- تحلیل مشاهده پذیری سیستم قدرت 35

2-10-1- روش توپولوژیکی مشاهده پذیری سیستم قدرت 35

2-11- جایابی PMU ها 36

38..... 2-12- خلاصه فصل

فصل سوم : مکان یابی بهینه واحدهای اندازه گیری فازور PMU و مشاهده پذیری کامل سیستم

40..... های قدرت با استفاده از الگوریتم ژنتیک

41..... 3-1- مقدمه

42..... 3-2- تحلیل مشاهده پذیری شبکه قدرت

43..... 3-2-1- روش عددی مشاهده پذیری

43..... 3-2-2- روش توپولوژیکی مشاهده پذیری

44..... 3-3- تابع هدف مسئله جایابی بهینه PMU ها

45..... 3-4- روش پیشنهادی مسئله جایابی PMU ها روی خطوط انتقال و باس ها

49..... 3-5- قابلیت اطمینان

50..... 2-5-1- کفایت سیستم

50..... 2-5-2- امنیت سیستم

فصل چهارم : نتایج شبیه سازی

52..... 4-1- مقدمه

52..... 4-2- شبکه ی اول

54..... 4-3- شبکه دوم

4-4- شبکه‌ی سوم 55

4-5- شبکه‌های بررسی شده 56

فصل پنجم : نتیجه‌گیری 61

5-1- شبکه‌ی هوشمند چیست ؟ 62

5-2- فواید شبکه‌ی هوشمند 62

5-3- ویژگی‌های اصلی شبکه‌ی هوشمند 63

5-4- چالشهای شبکه‌ی هوشمند 65

5-5- محل قرار گرفتن واحدهای اندازه‌گیری فازور 66

فصل ششم : مراجع و منابع 68

چکیده

افزایش روزافزون تقاضای انرژی برق و تلاش کارشناسان برای ارائه‌ی توان الکتریکی با کیفیت و کمیت مطلوب، آنها را به چالش کشانده تا به فکریک راه حل باشند. در سالهای اخیر استفاده از تکنولوژی شبکه های هوشمند راه حل خوبی بوده است. در این پایان نامه و در فصل اول به بررسی سیستم های هوشمند برق و کاربری های آن پرداخته می شود. معایب سیستم شبکه برق موجود در مقایسه با سیستم های برق هوشمند ارائه شده و مشخصه های اصلی شبکه های هوشمند بر اساس قابلیت آنها توضیح داده می شود.

کاربردی های این شبکه ها در مجموعه های زیرساخت اندازه گیری پیشرفته، پاسخ به تقاضا، منابع تولید پراکنده و ذخیره سازی، اتوماسیون توزیع، آگاهی فراگیر از موقعیت منطقه و حمل و نقل الکتریکی مورد بحث

و بررسی قرار می گیرند. و به بررسی تکنولوژی ها و بسترهای مخابراتی مورد نیاز پرداخته می شود. در فصل دوم مقدمه ای بر واحدهای اندازه گیری فازوری PMU شرح داده می شود. که در آن به بررسی ساختارها و کاربردهای واحدهای اندازه گیری فازور پرداخته شده است. تاریخچه ی ساخت و استفاده از این واحدها، چگونگی عملکرد و اندازه گیری اندازه و فازور ولتاژ باس ها و جریان شاخه های متصل به آنها اشاره شده است.

انواع پیام های ارسالی از طریق PMU ها و روشهای انتقال آنها از طریق خطوط تلفن، کابل فیبر نوری،

ماهواره ای، خطوط قدرت و لینکهای میکروویو از دیگر مباحث این فصل می باشد. در ادامه توضیحاتی در

مورد مشاهده پذیری شبکه های قدرت و روش های آن مانند روش توپولوژیکی و روش عددی داده می شود. از کاربردهای واحدهای اندازه گیری به اندازه گیری پارامترهای شبکه، تصحیح مدل سیستم، نمایش حرارتی خطوط انتقال، تخمین حالت و مطالعه امنیت و پایداری شبکه اشاره شده است.

تعریف مشاهده‌پذیری کامل شبکه‌ی قدرت و همچنین چگونگی مشاهده‌پذیر بودن یک شبکه قدرت و کاهش

تعداد PMU های مورد استفاده که با استفاده آن ها شبکه بصورت کامل مشاهده‌پذیر می شود، مبحث مکان

یابی بهینه را ملزم می کند که در فصل سوم مورد بررسی قرار می گیرد . در این فصل نحوه‌ی مکان یابی بهینه

PMU ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای مشاهده‌پذیری کامل شبکه با حداقل تعداد PMU مورد مطالعه

قرار گرفته شده است. در پایان و در فصل چهارم نیز مثال هایی که در محیط نرم افزار مطلب و با استفاده از

الگوریتم ژنتیک انجام می شوند؛ آورده شده است. و نتایج اعمال این برنامه روی شبکه های با تعداد باس های

بالا و شبکه های هوشمند در جداولی طبقه بندی می شوند .

قابل ذکر است که مکان یابی به دو روش مکان یابی روی باس های و وکتن یابی روی خطوط انتقال انجام شده

و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفته می شود .

پایان نامه کارشناسی

فصل اول :

شبکه های هوشمند توزیع برق

فصل اول :

شبکه های هوشمند توزیع برق¹

1-1- مقدمه

امروزه صنعت برق، نه تنها با فراهم کردن منابع جهت برآورده سازی انرژی مورد تقاضا صنایع مواجه هستند، بلکه از طرفی حداقل سازی و کاهش اثراتی که بشر بر روی محیط در ارتباط با تولید این انرژی دارد نیز یکی

دیگر از موارد مورد توجه می باشد. و شبکه هوشمند راه حلی برای این چالش است که سود و بازدهی بسیار

زیادی دارد. برای سمت مصرف کننده شبکه هوشمند بدین معنی است که آنها می توانند بروی مصرف خود

مدیریت هوشمندانه انجام دهند تا در ساعات پیک که قیمت انرژی گران می باشد، هزینه کمتری بپردازند و

برای کارشناسان محیط زیست، این شبکه به معنی استفاده از تکنولوژی جهت کمک به حل تغییرات مضر

آب و هوایی و اجتناب از تولید گازهای کربن بیش از اندازه می باشد و برای همکاران صنعت برق پیک سازی

و تصمیم گیری هوشمندانه و ارائه اطلاعات دقیق از وضعیت شبکه است.

شبکه های هوشمند توزیع انرژی الکتریکی یکی از جدیدترین تکنولوژی های روز دنیا و حاصل سعی و تلاش

متخصصین جهت مدرنیزه نمودن شبکه های توزیع و ورود به قرن دیجیتال است. اصلی ترین هدف، تأمین

برق مطمئن و پاسخگویی به نیازهای رو به رشد مشتریان با کمترین خسارت به محیط زیست است. اولین

شبکه هوشمند جهان در مارس 2008 معرفی گردید و شهر بالدر ایالت کلرادو آمریکا موفق به دریافت عنوان

اولین شهر با شبکه توزیع برق هوشمند گردید هدف طراحان با بکارگیری تکنولوژی هوشمند حول سه محور

¹ Smart grid

اصلی مشترکین ، تجهیزات و ارتباطات می باشد . تکنولوژی هوشمند توانایی ایجاد تغییرات اساسی در تولید ،

انتقال ، توزیع و استفاده از انرژی الکتریکی به همراه منافع اقتصادی و محیطی دارد که در نهایت به برآورده

نمودن نیازهای مشتریان و در دسترس بودن برق مطمئن و پایدار ختم می شود . از طرف دیگر سیستم می

تواند با استفاده از اطلاعات جمع آوری نموده در مواقع بحرانی ، تصمیم گیری نماید و از خاموشی های

ناخواسته جلوگیری کند.

2-1- شبکه‌ی هوشمند

شبکه های هوشمند توزیع نیرو، شبکه های به هم پیوسته دو سوپه ای می باشند که در آن اطلاعات نقش

بنیادی در فرایند توزیع انرژی ایفا می نماید.

توزیع هوشمند نیرو سامانه های مبتنی بر ترکیب فناوری اطلاعات و ارتباطات با توانمندی های پردازشی

رایانه ها و سیستم های الکتریکی می باشد. ارتقا سیستم های کنونی سخت افزاری غیر هوشمند به شبکه

های دو سوپه توزیع شده کارآمد و اقتصادی که در آن بهره وری سرمایه گذاری های انجام شده در صنعت

برق به طرز چشمگیری بالا می رود، از اهداف اصلی هوشمند سازی شبکه می باشد. بالا رفتن ضریب اطمینان

و پایداری شبکه از اهداف دیگر بکارگیری این فناوری می باشد. بطور خلاصه نیازمندی های زیر لزوم تغییرات

بنیادی را باعث گردیده است:

- شبکه توزیع خودبازیاب¹؛

• شبکه ای با ضریب اطمینان بالا و داشتن امنیت ذاتی در کلیه سطوح ؛

• کنترل غیر متمرکز و فراگیر با استفاده از گسترده از حسگرها و لوازم اندازه گیری .

¹ Self Healing Grids

- شبکه توزیع نیروی برق کم هزینه¹ :

• استفاده بهینه از دارایی های با ارزش با بکارگیری مفهوم پاسخ به درخواست² ;

• توزیع غیر سلسله مراتبی تولید نیروی برق و بهره گیری از تولید پراکنده نوعاً توسط مصرف کنندگان ;

• اتوماسیون گسترده و کاهش دخالت عامل انسانی .

- شبکه توزیع نیروی برق دوستدار محیط زیست :

• جمعیت و متنوع نمودن منابع انرژی ;

• مدیریت آلاینده ها و دی اکسید کربن .

در سامانه توزیع هوشمند نیروی برق نه تنها داده ها به صورت دوسویه از شبکه به مشترک و بالعکس منتقل

می گردد، بلکه جریان انرژی نیز دو سویه می گردد و شبکه می تواند بالقوه متشکل از هزاران تولید کننده و

فروشنده خرد برق³ باشد. این فروشندگان از طریق منابع تجدیدپذیر انرژی⁴ مانند سلول های خورشیدی،

گرمای زمین و یا از طریق ذخیره انرژی در ساعات و یا ایام کم بار (و البته ارزان) و فروش آن در ساعات پربار

(و صد البته گران) وارد بازار خرده فروشی برق شوند. لذا در شبکه ی هوشمند با دو شبکه جدید آشنا می

شویم:

• ریز شبکه توزیع برق⁵ ;

• شرکت توزیع برق مجازی⁶ ;

¹ Economical Grids

² Dimand respans

³ Electricity Retailer

⁴ Reusable energy sources

⁵ Micro grids

⁶ Virtual Utility

بازار مجازی برق در واقع مفهومی مشابه مدل اینترنتی است که در آن انرژی از هر منبعی صرفنظر از شیوه تولید، خواه ژنراتورهای سنتی یا منابع تجدیدپذیر انرژی باشد، عرضه و در هر نقطه دلخواهی در شبکه به

مصرف می‌رسد. بدیهی است تحقق چنین آرمانی بدون بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته اطلاعات و

ارتباطات (ICT) میسر نمی‌گردد.

نصب و راه‌اندازی سنسورهای هوشمند بر روی تمام عناصر کلیدی شبکه توزیع و برقراری شبکه ارتباط دو سویه، ادغام و هماهنگسازی سامانه AMI با سایر نرم‌افزارهای کاربردی مرکز، درگاه خدمات رسانی

مشترکین و سامانه‌ها و خدمات صوتی به مشترکین، نصب سیستم‌های نرم‌افزاری تشخیص خرابی بلادرنگ،

تنظیم بار، قطع و وصل جریان برق بصورت انبوه در عین حال انتخابی، همسویی و ادغام با شبکه‌های کنترل

بلادرنگ توزیع و فوق توزیع مانند SCADA و تبادل اطلاعات در راستای تعامل کامل در شبکه از جمله

فعالیت‌های اصلی جهت برپایی شبکه کامل توزیع هوشمند نیروی برق می‌باشد. بکارگیری و خرید انرژی از

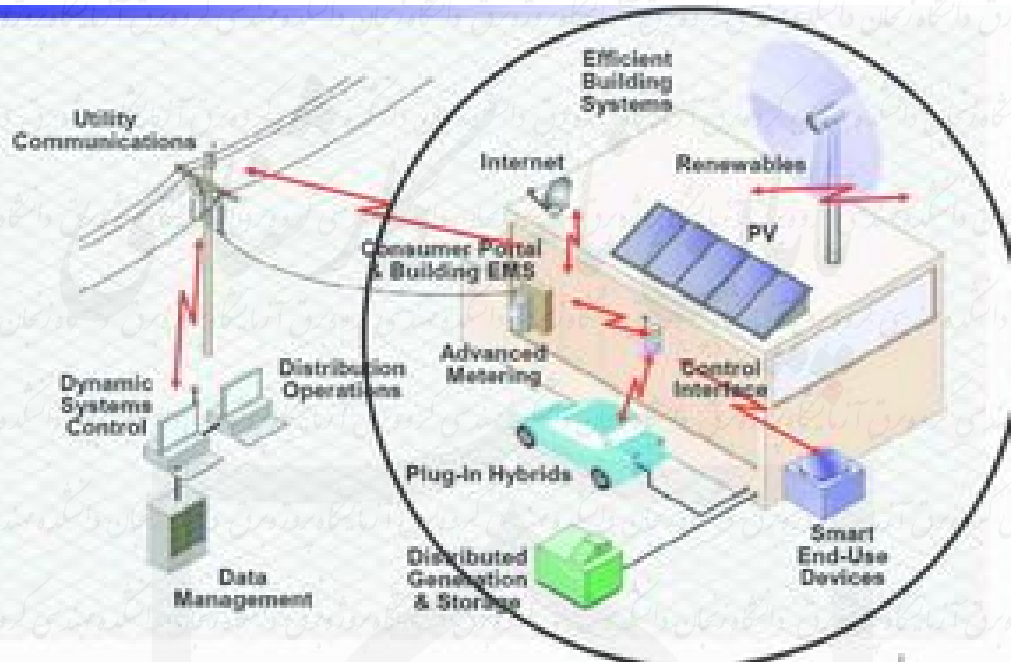
تولیدکنندگان خرد نوعاً مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر و منابع ذخیره‌فراگیر (مانند انرژی ذخیره شده در

خودروهای الکتریکی در ساعات اوج مصرف) و نیروگاه‌های ترکیبی نیرو و گرما¹ و برقراری ارتباط دو سویه

داده‌ای و انرژی با این تولیدکنندگان از مصادیق دیگر شبکه هوشمند خواهد بود.

¹ Heat combined and power

شکل 1- نمایی از یک شبکه توزیع نیروی هوشمند آینده



جدول زیر مقایسه ای بین سیستم های سنتی و اهداف شبکه های هوشمند را نمایان می سازد

سیستم های توزیع نیروی برق سنتی	سیستم های توزیع نیروی برق هوشمند
الکترومکانیکال	دیجیتال
بدون ارتباط یا با ارتباط ضعیف یکسویه	ارتباط دو سویه با کلید المان های فعال شبکه هوشمند
تولید متمرکز	تولید غیر متمرکز نوعا مبتنی بر انرژی های پاک
ساختار سلسله مراتبی	ساختار شبکه ای
سنسورها و المان های اندازه گیری محدود	سنسورها و المان های اندازه گیری فراگیر
شبکه بدون بازخورد	کنترل ذاتی و بلادرنگ
راه اندازی دستی	بازیابی خودکار
قطع گسترده در زمان بروز مشکل	محدود نمودن و قطع جزیره ای
تست و بررسی دستی شبکه	تست و بررسی شبکه از راه دور
کنترل محدود شبکه	کنترل همه جانبه شبکه
ارائه سرویس محدود به مشترکین و مصرف کنندگان	ارائه سرویس متنوع به مشترکین و مصرف کنندگان

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

کتابخانه نامہ کارسناسی

فصل ششم: مراجع و منابع

فصل ششم : مراجع و منابع

مراجعی که از آن‌ها در این پایان نامه استفاده شده‌اند عبارتند از :

[1] موسوی، علی " تشخیص مدهای نوسانی بین ناحیه ای با استفاده از واحدهای اندازه‌گیری فازوری " پایاننامه

کارشناسی ارشد دانشگاه زنجان - سال 1391-

[2] A. G. Phadke, J.S. Thorp, "History and Application of Phasor Measurements", *IEEE PSCE 2006*, pp. 331-335.

[3] A. G. Phadke, J.S. Thorp, "Synchronized Phasor Measurements and their Application", Springer, ISBN:978-0-387-76535-8, 2008

[4] J. Depablos, V. Centeno, A. G. Phadke, and M. Ingram, "Comparative testing of synchronized Phasor measurement units," in *Power Engineering Society General Meeting*, 2004. IEEE, 2004, pp. 948-954 Vol.1

[5] سلیمی، سعید " مکانیابی خطا روی خطوط انتقال بوسیله PMU " پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، تابستان 1388

[6] ابوترابی زاغچی، داود " تخمین حالت در سیستم های قدرت با در نظر گرفتن دستگاههای اندازه گیری سنتی

و PMU بصورت همزمان " پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، زمستان 1388

[7] م.قلیها، س.جلیلزاده و ر.عباسی " کاربرد الگوریتم GA-PSO در جایابی بهینه PMU در نظر گرفتن اهمیت

باس ها و تعداد کانال های PMU " هفتمین کنفرانس حفاظت و کنترل سیستم های قدرت-1391

[8] A. Ahmadi, Y. Alinejad-Beromi , M. Moradi " Optimal PMU placement for power system observability using binary particle swarm optimization and considering measurement redundancy " Elsevier journal, Expert Systems with Applications 38 (2011) 7263–7269

[9] Farrokh Aminifar, Mahmud Fotuhi-Firuzabad, Mohammad Shahidehpour " Probabilistic Multistage PMU Placement in Electric Power Systems " IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 26, NO. 2, APRIL 2011

[10] Jiangnan Peng, Yuanzhang Sun, H.F. Wang " Optimal PMU placement for full network observability using Tabu search algorithm " Elsevier journal, Electrical Power and Energy Systems 28 (2006) 223–231

[11] Abdul-Aziz Fish, S.Chowdhury, S.P.Chowdhury " Optimal PMU Placement in a Power Network for Full System Observability " IEEE Transactions on Power system, Vol. 978-1-4577-1002-5/11,2011

[12] Saikat Chakrabarti, Elias Kyriakides " Optimal Placement of Phasor Measurement

Units for Power System Observability " IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 23, NO. 3, AUGUST 2008

[13] B.K. Saha Roy , A.K. Sinha, A.K. Pradhan " An optimal PMU placement technique for power system observability " Elsevier journal, Electrical Power and Energy Systems 42 (2012) 71–77

[14] B. Milosevic and M. Begovic, "Nondominated sorting genetic algorithm for optimal phasor measurement placement," IEEE Trans. Power Systems vol. 18, no. 1, pp. 69-75, Feb. 2003.

[15] Amany El-Zonkoly, "Optimal meter placement using genetic algorithm to maintain network observability", ELSEVIER, 2006

[۱۶] Enrique S, Gary r, Le T, XiaominF "Getting Smart", IEEE Power & Energy, Vol. ۸ No. ۲ Mar/Apr ۲۰۱۰. Pp. ۴۱-۴۸

[۱۷] R. W. Uluski "The Role of Advanced Distribution Automation in the Smart Grid", Vol. ۹۷۸-۱-۴۲۴۴-۶۵۵۱-۴/۱۰, ۲۰۱۰ IEEE

[۱۸] Sodhi R, Srivastava SC, Singh SN " Management and control of domestic smart grid technology" , IEEE Transactions on SMART GRID, Vol.No۲. sept ۲۰۱۰

[۱۹] Khosrow Moslehi, Ranjit Kumar, "Smart grid- a reliability perspective", Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), ۲۰۱۰, pp. ۱-۸, ۲۰۱۰.