



**Андрей Владиленович
Борщев –**
– к.т.н, основатель и
генеральный директор
The AnyLogic Company,
разработчика и поставщика
инструмента имитационного
моделирования AnyLogic.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ: СОСТОЯНИЕ ОБЛАСТИ НА 2015 ГОД, ТЕНДЕНЦИИ И ПРОГНОЗ

А.В. Борщёв

Тел.: 7 (812) 441-31-05, e-mail: Info@anylogic.com

Доклад включает обзор рынка инструментов ИМ общего назначения: что есть, что появляется нового, какие инструменты прекращают своё существование, объём рынка и доли, занимаемые различными продуктами, включая коммерческие и open source. Отдельно мы коснёмся рынка услуг по разработке моделей и отношения ИМ со смежными технологиями (линейное программирование, оптимизация и др.). Также мы рассмотрим тенденции в применении различных методов ИМ (дискретно-событийное, агентное моделирование, системная динамика): рост и падение их популярности, размеры сообществ. Мы составим портрет современного разработчика имитационных моделей: необходимые навыки, как их приобрести, где работают такие люди и как найти такую работу. В конце доклада будет представлен прогноз развития области: что нового мы увидим в технологии ИМ в ближайшие годы и как будет изменяться её проникновение в мир.

Мы ограничим наш обзор применением имитационного моделирования (ИМ) в области бизнеса и некоторыми научными применениями с использованием инструментов общего назначения. Производство, логистика, цепочки поставок, сфера услуг, потребительский рынок, управление активами и проектами, HR, социальная динамика, эпидемиология – это наша тема. А инженерные и научные применения ИМ, требующие специальных методов и инструментов, например, моделирование в аэродинамике, химии, метеорологии, механике и тому подобные мы оставляем за кадром. Попутно заметим, что приложения ИМ для массового частного потребителя (если не брать в расчёт игровые движки) автору неизвестны.

ИМ – маленький мир

На сегодняшний день мир ИМ – маленький мир. Маленький, прежде всего, по количеству людей, которые этим занимаются. Маленький (более того, как мы увидим, сокращающийся) по количеству инструментов для создания моделей. Маленький (но, как мы тоже увидим, растущий) по роли в ежедневном функционировании бизнеса ИМ, то есть на оперативном уровне. ИМ сейчас нечасто являются критическими (mission-critical) частями ИТ-инфраструктуры компании. Про ИМ говорят nice to have, not must have (хорошо, но необязательно). ИМ иногда используется на постоянной основе для принятия оперативных решений, но не является стандартом, обычно существуют упрощённые аналитические альтернативы. Штатное расписание компаний, возьмём средних и крупных, предполагает ИТ-директора, специалистов по ERP, CRM, возможно, разнообразных OR-аналитиков. Специалистов по ИМ по умолчанию там нет.

Текущая роль ИМ – помощь в планировании изменений, оптимизация, сравнение альтернатив, проектирование нового, то есть *стратегический и тактический* уровень. Здесь ИМ действительно может помочь значительно повысить эффективность, сэкономить существенные деньги или даже предупредить катастрофические последствия ошибочных решений. Но: отсюда *проектная*, то есть эпизодическая, непостоянная практика его применения. Отсюда и единственно массовый тип пользователя инструментов ИМ – это *консультант*. То есть человек, обладающий редкими экспертными знаниями в некой технологии, которые иногда требуются различным бизнес-клиентам. Штатные разработчики моделей в больших компаниях типа GE или Ford – те же консультанты, только внутренние.

Итак, сколько же в мире людей, профессионально строящих имитационные модели? Официальных исследований на эту тему нет, поэтому в нашем распоряжении только не прямые методы оценки, например, такие:

- Размер профессиональных групп в LinkedIn
- Количество участников конференций по ИМ
- Количество активных лицензий на инструменты ИМ

Простая сумма участников групп LinkedIn по моделированию в различных инструментах ИМ (см. Рис. 1) даёт нам около 10,000 человек. При этом надо понимать, что многие разработчики пользуются или, хотя бы, интересуются, двумя и более инструментами. Количество упоминаний владением различными инструментами ИМ таково: Arena – 133,000 (это, видимо, стопроцентное проникновение в университеты), все остальные в сумме – 14,000.

Что же касается конференций, то основная международная конференция разработчиков моделей с фокусом на дискретно-событийное и, последние несколько лет, ещё и на агентное моделирование – Winter Simulation Conference (WSC) [1] – уже долгие годы собирает не более 500-700 (Рис. 2) человек и цифра эта не растёт. International System Dynamics Conference [2] примерно в половину скромнее и посещаемость её постепенно падает. Что и неудивительно, если принять во внимание закрытый, почти сектантский характер сообщества.

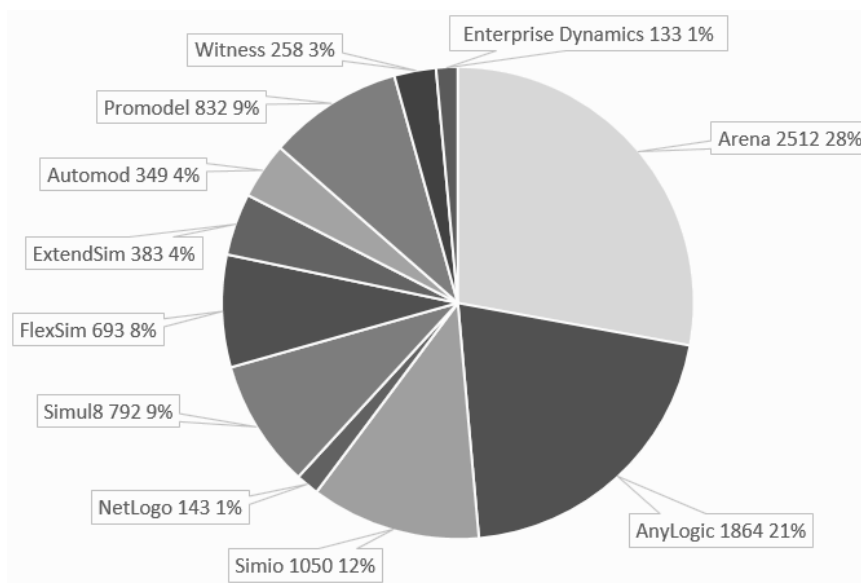


Рис. 1. Размер групп LinkedIn по инструментам ИМ

В Европе нет центральной конференции или выставки по нашему направлению. Наиболее заметное событие – конференция ASIM [3] – немецкоязычного сообщества ИМ. В 2015 году она собрала около 300 человек. Для сравнения, одна только конференция INFORMS Annual Meeting [5], посвящённая, в основном, неимитационным аналитическим методам, таким как математическое моделирование, статистический анализ, линейное программирование, математическая оптимизация, собирает ежегодно 4,000-5,000 тысяч человек.

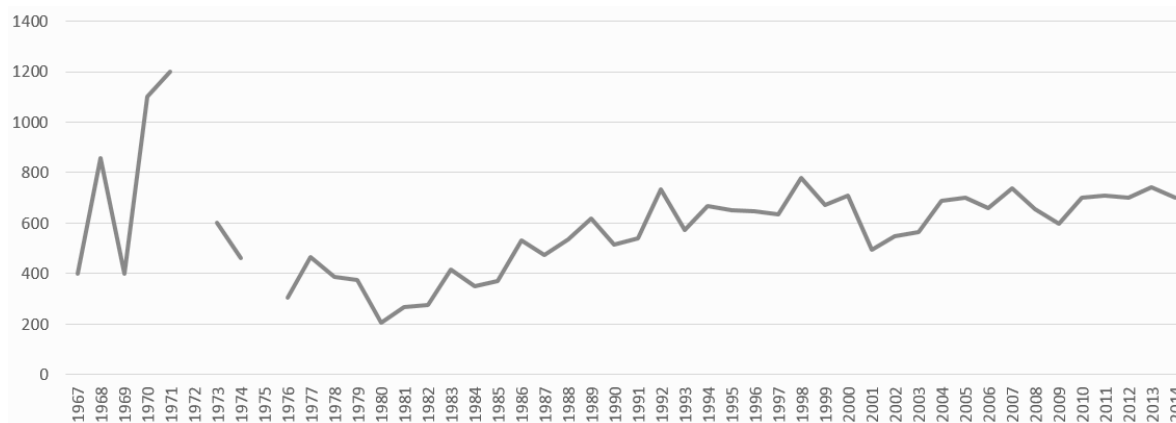


Рис. 2. Посещаемость WSC за все годы [4]

Данные о продажах лицензий публично недоступны, поэтому информацию о количестве активных пользователей можно извлечь только из частных разговоров.

Думаю, цифра 15,000 человек будет неплохой оценкой для числа профессиональных разработчиков моделей в мире на сегодняшний день. Естественно, мы не учитываем здесь студентов, строящих модели в рамках своих учебных программ.

Рынок инструментов ИМ и рынок консалтинга

Сколько денег в год тратят компании на приобретение лицензий на инструменты ИМ? Каковы доли рынка различных продуктов? Компании типа Gartner обходят нашу

область стороной ввиду почти ничтожного, по их меркам, размера рынка. Все производители инструментом ИМ (вендоры, vendors) – небольшие частные компании, поэтому данные об их выручке закрыты. (Исключениями являются Rockwell Automation и Siemens, владеющие, соответственно Arena и Plant Simulation, но доходы от продажи этих продуктов, конечно же, занимают там маргинальные доли.) Более того, часто компании-вендоры параллельно занимаются и консалтингом, так что выделить чистую выручку от продажи лицензий без инсайдерской информации невозможно.

В течение последнего года автор обсуждал размер рынка с вендорами других продуктов. Мнения расходятся, но в любом случае получается весьма скромная цифра в районе 30-50 млн долларов. Для оценки долей в нашем распоряжении также косвенные методы. Помимо уже приведённых цифр по размеру групп в LinkedIn, мы можем посчитать, сколько реальных проектов (case studies), выполненных на различных инструментах, опубликовано в материалах той же WSC. Данные (Рис. 3) оказываются довольно близкими к LinkedIn, так что эти оценки имеют, как минимум, имеют некоторый смысл.

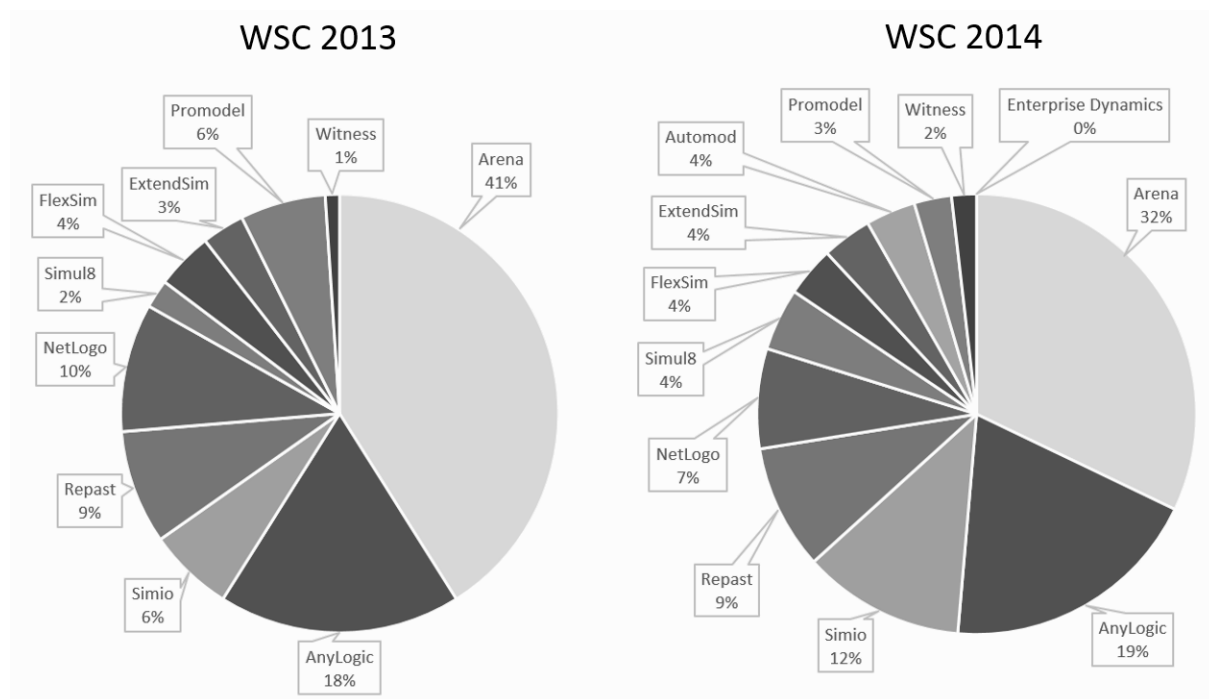


Рис. 3. Количество публикаций WSC (реальные проекты) по применявшимся инструментам

Более интересна динамика долей рынка. Большая часть продуктов медленно, но верно прекращают своё существование. Умирает Arena – говорить об этом стало уже общим местом, обсуждается только, куда мигрируют её пользователи. Когда-то мощный Enterprise Dynamics превратился в регионального европейского игрока. Скорее всего, уйдут Witness, Automod, SimProcess. Непонятно, выживут ли Promodel и ExtendSim, скорее всего нет. По мнению автора, рынок поделится между следующими продуктами (в алфавитном порядке):

- AnyLogic
- FlexSim

- Simio
- Simul8

Отдельно нужно сказать про Plant Simulation – продукт глубоко проник в немецкий автопром и поддержан там как стандарт. Оттуда он никуда не денется, а экспансия за пределы этого рынка Plant Simulation, похоже, не очень интересна. Ещё один любопытный факт: компании MathWorks и SAS одновременно пытаются создать инструменты для бизнес-моделирования на своих аналитических платформах. Эти попытки неагрессивны и пока ограничиваются демонстрацией примитивных ДС продуктов. Мы также наблюдаем, что бесплатные open-source инструменты агентного моделирования RePast и NetLogo прочно вошли в обиход – это говорит, в том числе, о росте популярности метода. Мы не упомянули здесь область СД. Там, как и 20 лет назад, всё те же три продукта VenSim, PowerSim, iThink/STELLA и такой же небольшой объём продаж.

И всё же, в области ИМ оборачивается значительное количество денег, но все находятся они в *консалтинге*. Пример: один проект с применением ИМ для крупного металлургического комбината в настоящий момент выполняется за 2 млн долларов. А это запросто может быть, скажем, треть годовой выручки вендора какого-нибудь продукта. Проект для фармацевтической компании длительностью в полгода, который выполняет один специалист по ИМ, стоит 350,000 долларов. Оценивать объём этого рынка мы сейчас не будем, но понятно, что он в десятки раз больше, чем рынок самих инструментов ИМ. Но и требования к консультанту, как мы увидим далее, предъявляются очень серьёзные.

Портрет создателя имитационных моделей

Давайте подумаем, какими знаниями и умениями должен обладать профессиональный разработчик ИМ, способный применять рассмотренные нами инструменты общего назначения для более или менее широкого спектра задач.

Способность разговаривать и учиться

Поскольку ИМ создаются, в основном, консультантами, разработчик модели часто не является экспертом в предметной области. Поэтому он должен уметь разговаривать с заказчиком, “извлекать” из него постановку задачи, быстро разбираться в том, как работает ранее незнакомый ему бизнес. Здесь необходимы навыки общения и определённая гибкость ума, способность быстро учиться.

Знание смежных и альтернативных технологий

Нужно ли строить ИМ? Этот вопрос нужно держать в голове, в особенности на начальных стадиях проекта. Анализ задачи может показать, что решение лучше искать другими методами, например, линейным программированием, оптимизацией в комбинации с эвристиками, а то и просто составив таблицу в Excel и дописав пару строк на VB. Кроме того, ИМ, естественно, часто работает совместно с этими методами. Знание смежных/альтернативных технологий и границ их возможностей – обязательное для профессионала ИМ.

Дар упрощать, структурировать и выбирать метод

Выбор уровня абстракции и метода моделирования – центральный вопрос в построении модели. Какие допущения мы вправе сделать? Где границы моей модели,

то есть что мы считаем заданным и внешним, а что – моделируем? Каков оптимальный уровень детализации – по структуре? по событиям и времени? На какую модельную конструкцию мне лучше отобразить реальный объект – заявка в процессе? агент? единица в непрерывном потоке? Ответы на все эти вопросы не формализуемы. Это область искусства, опыта и интуиции, а не технологии. Соответственно, у создателя модели, помимо знания различных методов и языков моделирования, должен быть некий дар, чутьё. Причём дар более редкий, чем у продвинутого программиста, умеющего хорошо структурировать задачу: разработчик ИМ имеет дело с ещё с одной размерностью – временем.

Минимализм и готовность выбрасывать части своей работы

Стремление к минимализму, желание упрощать и способность самостоятельно итерировать разработку, то есть по собственной воле выбрасывать части модели и заменять их новыми, переработанными – важнейшие качества специалиста по ИМ.

Теория вероятности и статистика

Реальный мир полон неопределённостей, и нужно уметь отражать это в ИМ, то есть строить стохастические модели (почти все дискретно-событийные (ДС) и агентные модели (АМ) стохастические, системно-динамические (СД) модели обычно детерминированные). Поэтому необходимы базовые знания теории вероятности и статистики, знание основных распределений, умение пользоваться инструментами подбора аналитических распределений по рядам “исторических” данных (distribution fitting). Естественно, необходимо понимать, что в модели случайные числа – псевдослучайные, выходящие потоком из генератора случайных чисел (random number generator, RNG). Это даёт преимущество в виде воспроизводимости экспериментов, но создаёт проблемы корреляции, так что нужно думать о том, сколько и каких RNG использовать. Интерпретация результатов выполнения стохастической модели – отдельная тема. Разработчик модели должен знать, сколько прогонов (репликаций, replications) необходимо сделать, как проводить оптимизацию в условиях неопределённости (optimization under uncertainty).

Дискретное и непрерывное, линейное и нелинейное

В зависимости от задачи, разработчик ИМ может иметь дело как с дискретными сущностями, так и с непрерывными. Зерно, нефть, вода, деньги, жидкие ингредиенты в производстве – очевидные примеры последних. А иногда и явно дискретные объекты (транзакции, заказы, клиенты, товары, детали) имеет смысл представить в виде непрерывной материи (системная динамика поступает так со всем вообще). Поэтому создатель ИМ должен знать, как моделировать динамику непрерывных сред. Если потоки кусочно-постоянные (соответственно, накопители кусочно-линейные), то можно использовать библиотеки типа discrete rate, основанные на линейном программировании (LP solvers). А если динамика нелинейная, есть обратные связи, то потребуются численный решатель дифференциальных уравнений (numeric solver) и, описание задачи в виде, например, СД диаграммы.

Программирование (алгоритмы и структуры данных)

Бывает, конечно, что ИМ строится исключительно мышью в графическом редакторе путём перетаскивания блоков, рисования, и выбора опций из списка. Но это,

за исключением СД, редко. Абсолютное большинство неигрушечных моделей содержит код для описания структур данных и алгоритмов “нединамической” логики, например, политик управления запасами, принятия решений потребителем, распределения ресурсов, а также для взаимодействия с внешними данными. Этот код дополняет диаграммы процессов, потоков и состояний. Поэтому разработчик моделей – ещё и программист, как минимум понимающий в алгоритмистике.

Специфика агентного моделирования

Агентное моделирование (АМ) создаёт дополнительные требования к разработчику ИМ. Во-первых, это умение думать в терминах объектов, взаимодействующих без единого центра управления. Здесь пригодятся базовые знания из теории распределённых и параллельных систем, в частности, протоколов связи (синхронность и асинхронность, дедлоки, недетерминированное поведение). Полезным бывает использование диаграмм обмена сообщениями (message sequence diagrams). Диаграммы состояний (statecharts) широко используются для задания индивидуального поведения агентов. В определённом классе АМ необходимо знание социальных сетей (social networks). В АМ часто помогает объектно-ориентированное мышление: типы агентов организуются в иерархию классов с наследованием. Наконец, в АМ приходится программировать в среднем больше, чем в ДС или СД.

Но всё равно, и здесь центральным остаётся умение отобразить реальный мир на мир моделей. Например, что будет агентом? Иногда это совсем неочевидно. Например, в известной модели автомобильного рынка Северной Америки агентом, после нескольких итераций, был выбран не индивидуальный потребитель, а семья (household, домохозяйство), совместно владеющая несколькими автомобилями и совместно принимающая решения об их покупке и продаже.

Графический дизайн, дизайн интерфейса и 3D-моделирование

ИМ имеет естественное преимущество перед другими аналитическими технологиями в виде возможности показать развитие событий во времени. Интерактивная 2D и 3D анимация давно стала стандартным требованием к модели, а её привлекательность и убедительность может быть решающим фактором при сдаче проекта. Хороший разработчик ИМ должен, в идеале, иметь художественный вкус, обладать навыками графического дизайна, дизайна интерфейса пользователя и 3D моделирования.

Прогноз – что будет с областью ИМ в ближайшие годы?

Не очень хорошая новость

Перечень качеств, необходимых создателю ИМ мы можем резюмировать так: в ближайшие годы таких людей будет не больше, а меньше. Таков будет результат текущей тенденции к упрощению всего и вся и навязываемой жизнью невозможности длительно концентрироваться и углубляться (безоценочная констатация, автор не считает, что это плохо). Впрочем, спрос на высококлассных разработчиков моделей всё равно никуда не денется и, конечно же, не даст нашему сообществу ужаться до нуля :)

Рынок для инструментов ИМ общего назначения не будет расти. Более того, как мы уже показали, в ближайшее время некоторые из них окончательно прекратят своё существование, а их доли перераспределятся между четырьмя-пятью живыми, продолжающими разработку игроками. Показательно, что на Winter Simulation

Conference 2015 выставочные стенды из рассмотренных нами компаний имеют только вендоры AnyLogic, Arena, FlexSim, ExtendSim и Simio (данные на 11 октября [8]). 15 лет назад таких было примерно в три раза больше.

Хорошая новость

Вместе с этим, практическое применение ИМ растёт сейчас и рост продолжится. В основном за счёт специализированных (построенных под конкретную предметную область) инструментов и библиотек более высокого уровня, предоставляющих упрощённый интерфейс и *снижающих требования к пользователю*. Мы уже видим успешные продукты в области моделирования пешеходных потоков, дорожного движения, автомобилестроения. На сегодняшний момент одна из “горячих тем” – цепочки поставок, мы на пороге появления мощных оптимизационных продуктов, основанных на ИМ (таков, в частности, anyLogistix, разрабатываемый нашей компанией). Несомненно, постепенно появятся и продукты в области HR, потребительских рынков, управления парками, сетей трубопроводов, услуг здравоохранения и т.п., использующие ИМ.

Кроме того, ИМ-компоненты будут всё больше встраиваться в специализированные аналитические платформы для поддержки принятия решений, такие, например, как GE Brilliant Factory [6], в рамках инициативы Industrial Internet [7]. Но эти компоненты будут хорошо упрятаны за проблемно-ориентированным интерфейсом, так что конечный пользователь даже не будет знать, что за числами, графиками и рекомендациями стоит наша с вами кухня событий, дифференциальных уравнений, агентов, стейтчартов, процессов и заявок.

Что нас ждёт в области методологии и технологии

В области методов и языков ИМ ситуация следующая. СД практически не изменилась за последние 50 лет, там происходит фиксация status quo в виде попытки создать универсальный язык обмена СД-моделями (проект XMI/IE [9]). В ДС моделировании также не происходит ничего принципиально нового, идёт создание более удобных блоков описания процессов, сама же концепция не поменялась с 1960-х годов. Единственным прорывом за XXI век стало появление и начало практического использования АМ, а также комбинирование методов с целью получить более естественное отображение задачи. Кроме того, конечно же, происходит интеграция ИМ с новыми технологиями, например, с GIS-сервисами.

С момента возникновения первых графических инструментов ИМ общего назначения и по сегодняшний день они оставались традиционными “oldschool” desktop-приложениями. Возможно, некоторые из вендоров и продублируют интерфейс разработки моделей в браузере, но это не будет чем-то, меняющим правила игры: интерфейс по определению сложный и без мыши и клавиатуры там делать нечего.

А вот в области выполнения ИМ, управления выполнением и доставки результатов пользователю нас ждут очень интересные изменения. Коротко сформулируем это так: выполнение ИМ будет полностью перенесено в облако и распараллелено, туда же отправится хранение моделей, сценариев запуска и результатов, а управление экспериментами и результатами (scenario management) – перейдёт в браузер. Запускать модель можно будет из любого места, с любого устройства и там же можно будет сравнить результаты запусков и оптимизаций, а также посмотреть 2D и 3D анимацию.

Ссылки

- [1] www.wintersim.org
- [2] conference.systemdynamics.org
- [3] www.asim-gi.org
- [4] www.wintersim.org/2014/pastconf.html
- [5] www.informs.org/Attend-a-Conference/Annual-Meeting
- [6] www.gereports.com/post/114774680705/personalized-production-the-brilliant-factory
- [7] en.wikipedia.org/wiki/Industrial_Internet
- [8] www.wintersim.org/2015/exhibits.html
- [9] www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=xmile