مسیرنماهای علم و فناوری

■ نویسنده: رونالد کوستوف
■ مترجمان: محمدرضا میرزا امینی؛
mirzaaminy@hotmail.com
مدیر عامل اندیشگاه شریف
حمید علی‌اکبرزاده
hamid_stt2006@yahoo.com
مدیر اجرایی اندیشگاه شریف

چکیده

مسیرنماهای علم و فناوری[1] که گاهی با عنوان "کارراهه" یا "نقشه راه" علم و فناوری نیز ترجمه شده‌است، در صنعت، دولت و دانشگاه برای به تصویر کشیدن ارتباطی ساختاری بین علوم، فناوری‌ها و کاربردها استفاده می‌شود. مسیرنماها به‌عنوان تصمیم‌یار[2] به‌منظور بهبود هماهنگی بین فعالیت‌ها و منابع در محیط‌های دارای پیچیدگی و عدم‌قطعیت روزافزون، مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربردهای مشخص مسیرنماها عبارتند از:

۱. مدیریت علم و فناوری، که شامل راهبرد، برنامه‌ریزی، اجرا، بازنگری و گذار است؛

۲. بازاریابی علم و فناوری؛

۳. بهبود ارتباطات بین پژوهشگران، فناوران، مدیران تولید، تأمین‌کنندگان، کاربران و سایر ذینفعان؛

۴. شناسایی شکاف‌ها و فرصت‌ها در برنامه‌های علم و فناوری؛

۵. شناسایی موانع پیش روی توسعه و تولید سریع و کم‌هزینه.

همچنین مدیران علم و فناوری از مسیرنماها برای شناسایی حوزه‌های علم و فناوری نویدبخش نیز استفاده می‌کنند و از آنها برای شتاب‌بخشی به روند تبدیل علم و فناوری به محصولات نهایی بهره می‌برند. هنوز در ادبیات منتشرشده، به روش و تجربه تدوین مسیرنما و یا "مسیرنماسازی" توجه زیادی صورت نگرفته است. این گزارش، اولین تلاش برای گردآوری تعاریف متداول در روش و تجربیات مسیرنماسازی و تبیین وحدت درونی رویکردهای موجود علی‌رغم تفاوت‌های ظاهری آنها است. این مقاله با تعاریف عمومی مسیرنماها شروع می‌شود و در بر دارنده گونه‌شناسی مسیرنماهایی است که هدف آنها، بهبود تحلیل و یکپارچگی طیفی گسترده از کاربردها و اهداف است. در ادامه، ویژگی مسیرنماهای گذشته‌نگر و آینده‌نگر نظیر ویژگی‌های فنون ترسیم نقشه علم و فناوری بر اساس ارزیابی مراجع[3] شناسایی و تحلیل می‌شوند. جزئیات فرآیند ایجاد مسیرنماها، شامل اصول بنیادی برای ایجاد مسیرنماهای کیفی نیز ارائه می‌گردد.

معرفی پیشینه

پیشرفت سریع و جهانی‌شدن علم و فناوری، پیچیدگی‌های مدیریتی علم و فناوری را به طور اساسی افزایش داده است. اساساً، رشد موازی علم و فناوری اطلاعات، نویدبخش تصمیم‌یارهای پیشرفته‌ای است که در سازمان‌های علم و فناوری که پیچیدگی آنان رو به افزایش است، پشتیبان مدیریت هستند. شاخص‌ها، داده‌کاوی، بازیابی، اطلاعات، مسیرنماها و دیگر فناوری‌های اطلاعات‌محور[4]، هم در زمینه کاربردهای علمی و هم مستندسازی‌های ادبیات روزبه‌روز مورد توجه بیشتری قرار می‌گیرند. مطالعات نشان می‌دهد که به جای تلاش برای فهم چگونگی ارتقای توانمندی‌های تصمیم‌یارها به کمک کاربران، دقت و تلاش بیشتری برای توسعه و ارائه این تصمیم‌یارها به بازار انجام شده است. به همین دلیل، کیفیت تصمیمات و فناوری‌ها، در حال پیشی‌گرفتن از کاربردهای آنها است.

این گزارش روی یک‌دسته از این تصمیم‌یارهای امیدبخش متمرکز می‌شود که مجموعه‌ای از فنون، با عنوان "مسیرنماها" را در برمی‌گیرد. هدف این گزارش، شناسایی ویژگی‌های مسیرنماهای اصلی به‌منظور بهبود کاربردشان است. ایجاد مسیرنماها اگر دربردانده همه تصمیم‌یارهای مذکور نباشد، حداقل شامل تعداد زیادی از تصمیم‌یارهای مکمل ذکر شده‌است. بنابراین، بر شمردن الزامات و اصول کیفیت مسیرنماها، مستلزم تعمیم الزامات و اصول کیفیت دیگر تصمیم‌یارها است.

1. Science and Technology Roadmaps
2. Decision Aids
3. Bibliometric-based S&T Mapping
4. Information-based

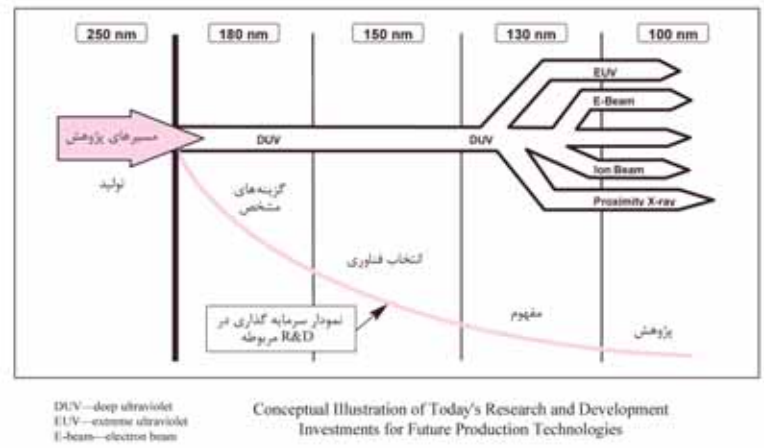
تعاریف

عموماً یک "نقشه راه" مبین نحوه چیدمان مسیرها و جاده‌های موجود و یا ممکن در یک موقعیت جغرافیایی خاص است. در زندگی روزمره، نقشه‌راه‌ها مورد استفاده مسافرانی قرار می‌گیرد که می‌خواهند برای رسیدن به مقصد نهایی، از بین مسیرهای موجود یکی را برگزینند. بنابراین، یک نقشه‌راه، همچون ابزاری به منظور برنامه‌ریزی سفر برای مسافر است که امکان درک مسیر، میزان نزدیکی، جهت و تا اندازه‌ای قطعیت آن را فراهم می‌آورد.

بررسی ادبیات موضوع مشخص می‌کند که کلمه مسیرنما به عنوان استعاره‌ای محبوب برای برنامه‌ریزی منابع علم و فناوری به کار می‌رود. تعبیر مسیرنماسازی، فعل جدیدی است که فرآیند توسعه مسیرنما را تشریح می‌کند. معمولاً، روش مسیرنماسازی در بر دارنده ساز و کارهای تعامل اجتماعی، یک تجربه یادگیری و ابزار ارتباطی برای مشارکت‌کنندگان در تدوین مسیرنما است.

رابرت گالوین[1] رییس سابق شرکت موتورولا در مقام دفاع از مسیرنماهای علوم و فناوری، تعریف ذیل را پیشنهاد می‌دهد:

"مسیرنما، نگاهی گسترده به آینده حوزه‌های پژوهشی منتخب است که از دانش و تصور جمعی درباره روشن‌ترین پیشران‌های تغییر در آن زمینه تشکیل می‌شود... مسیرنماها در مورد چشم‌اندازها آگاهی می‌دهند و منابع را از بخش خصوصی و دولتی جذب می‌کنند، ارزیابی‌ها را ترغیب نموده و بر پیشرفت کارها نظارت می‌کنند. آنها فهرستی از امور ممکن در زمینه‌ای خاص هستند. در مهندسی، فرآیند مسیرنماسازی، تأثیر مثبت فراوانی بر مدیران دولتی و صنعتی دارد که پرسش‌هایشان در مورد نحوه حمایت از فناوری بنیادین بی‌پاسخ مانده است"



شکل ۱. مسیرنمای ملی فناوری نیمه رسانا: نیازهای فناوری

بنابراین، مسیرنمای علم و فناوری، دیدگاه یا چشم‌اندازی مورد وفاق از دورنمای علم و فناوری آینده برای تصمیم‌گیران فراهم می‌کند. فرآیند مسیرنماسازی، راهکاری برای شناسایی، ارزیابی و انتخاب گزینه‌های راهبردی در راستای تحقق اهداف آرمانی علم و فناوری، ارائه می‌دهد.

برای نمونه، بخش معرفی گزارش مسیرنمای ملی فناوری نیمه‌رسانا که توسط انجمن صنعت نیمه‌رسانا در سال ۱۹۹۷ تهیه شده‌است، تصویری مفهومی از طیف گزینه‌های ممکن فناوری در زمینه لیتوگرافی در نسل‌های آینده فناوری نیمه‌رسانا ارائه می‌دهد (شکل ۱).

قطعاً گزینه‌های آینده، بیشتر هستند. اما، فرآیند مسیرنماسازی در محدودسازی حوزه نیازها و راه‌حل‌های ممکن و آنهایی که بیشترین احتمال را برای پیگیری دارند، به ما یاری می‌رساند. در سطح کاربردی، مسیرنمای "محصول ـ فناوری"، یک روش اصولی برنامه‌ریزی کسب و کار، متمرکز و چندساله است. البته، برای یک مدیر تولید، اجراپذیری مسیرنما، همپای ارزش راهبردی آن، مهم است.

یک دسته از تعاریف و توصیف‌های متداول از مسیرنمای علم و فناوری، شامل بازنمایی ابعاد قابل تصور از روابط ساختاری و زمانی میان عناصر علم و فناوری است. در این دسته تعاریف، یک مسیرنمای علم و فناوری را می‌توان همانند نقشه بزرگراه‌های عمومی، یک طرح مفهومی منسجم (نه الزاماً فیزیکی) از گره‌ها و رابط‌ها در نظر گرفت. به‌طور کلی، گره‌ها و رابط‌های مسیرنما می‌توانند ویژگی‌های کمی و کیفی داشته باشند. برای مثال، در نقشه بزرگراه، یک رابط (جاده) از یک جهت، طول و در بعضی مواقع پهنای مؤثر (دو مسیر و ...) برخوردار است. این موارد از جمله خواص کمّی اساسی هستند.

بعضی مواقع، نقشه بزرگراه یک خط نقطه‌چین بعد از جاده را نشان می‌دهد که نشانگر منظره جاده است. این خصوصیت کیفی نقشه بزرگراه است. به‌طور مشابه، یک "رابط" در مسیرنمای

1. Robert Golvin

علم و فناوری، می‌تواند مبین ویژگی کیفی "درجه‌ی تأثیر یک برنامه علمی باشد که به صورت بالقوه می‌تواند بر یک برنامه فناوری" اثر بگذارد، و یا این رابط می‌تواند بیانگر خصوصیت کمّی "زمان تخمینی تبدیل یک برنامه علمی به برنامهٔ فناوری" باشد.

معمولاً یک نقشه بزرگراه شامل گره‌ها و رابط‌هاست. موقعیت‌های گره و رابط‌ها، بردار هستند، که باید اندازه و جهت آنها کاملاً تشریح شود. متناظراً، یک مسیرنمای کلی علم و فناوری نیز از ابعاد فضایی و زمانی برخوردار است (شکل ۲). بُعد فضایی، مبین روابطی میان اصول، برنامه‌ها، پروژه‌های علم و فناوری در یک لحظه از زمان است. در حالیکه بعد زمانی، بر روند تکامل توانمندی‌های واحد علم و فناوری متمرکز می‌شود. همانند نقشه بزرگراه، گره‌ها و رابط‌های مسیرنمای علم و فناوری بردارهایی هستند که به "اندازه و جهت" برای تشریح کامل فرآیند نیازمندند. با توجه به اینکه فرآیندهای تکامل فناوری معمولاً غیرخطی و غیر قابل پیش‌بینی است و نظر به اینکه مسیرنماها برای مطالعات گذشته‌نگر و آینده‌نگر در طول زمان استفاده می‌شوند، این بردارهای رابط می‌توانند در طول زمان، جهتی رو به جلو و یا رو به عقب داشته باشند. بنابراین، به‌طور کلی ایجاد مسیرنما نیازمند اقدامات ذیل است:

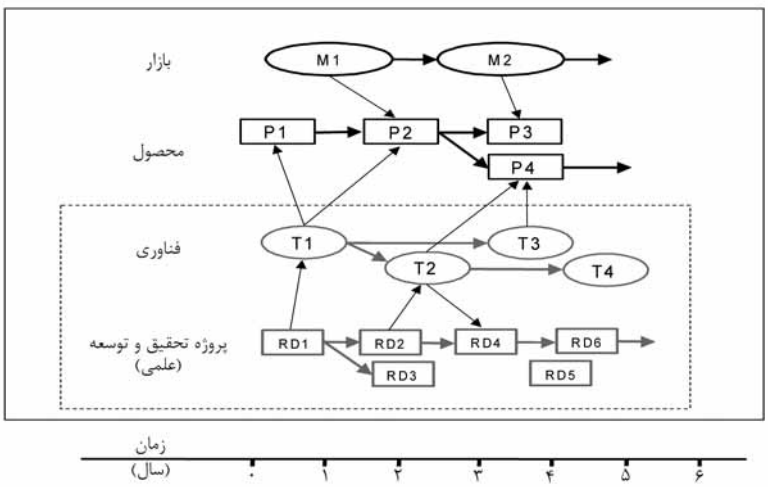
۱. شناسایی گره‌ها؛
۲. مشخص کردن ویژگی‌های گره؛
۳. اتصالات بین گره‌ها توسط رابط‌ها؛
۴. مشخص کردن ویژگی‌های رابط.

انواع مسیرنماها

در اینجا، برخی از انواع بی‌شمار مسیرنماها را مطرح خواهیم‌کرد. بنا بر نظر رادنور[1]، مسیرنماسازی برای فناوری، محصول و قالب‌های سازمانی / صنعتی مربوطه، به تدریج در بنگاه‌های فناوری‌محور بزرگ انجام می‌شود. امروزه، ادبیات منتشره در مورد مسیرنماسازی بسیار پراکنده است؛ البته نویسندگان، اطلاعات صنعت‌محور[2] در این زمینه را در ادبیات وسیع‌تر یافته‌اند[3]. به‌علاوه، کاسول[4] و دیگر پژوهشگران بیش از ۱۵۰ سند مربوط به مسیرنماها را از صنعت، دولت، و دانشگاه که به منظور ترکیب اندیشه‌های جاری در حوزه نیازها و راهبردهای کسب و کار تهیه‌شده‌اند، جمع‌آوری و فهرست کرده‌اند. دستاورد این پژوهش، یکی از جامع‌ترین گزارش‌های موجود در مورد مسیرنماهای صنعتی تا امروز است که با عنوان دایجست[5] منتشر شده‌است. از این ادبیات می‌توان تا حدی برداشت‌های مقدماتی به دست آورد. به عنوان مثال، دسته‌بندی متمایز و معتبر انواع مسیرنماها امکان‌پذیر می‌شود. در کارگاه مسیرنمای فناوری حداقل یک دوجین از کاربردهای گوناگون مسیرنماها ارائه شد[6]. این کاربردها، طیف گسترده‌ای را پوشش می‌دهند که برخی از آن‌ها عبارتند از:

- مسیرنماهای علوم ـ تحقیقات (همانند نگاشت علوم)؛
- مسیرنماهای گذارصنعتی (همچون طرح صنعتی کانادا)؛
- مسیرنماهای صنعتی (مسیرنمای بین‌المللی فناوری نیمه‌رسانا "انجمن صنعت نیمه‌رسانا")؛
- مسیرنماهای محصول (موتورولا، اینتل و دیگران)؛
- مسیرنماهای فناوری (هوا فضا، آلومینیوم و...)؛
- مسیرنماهای فناوری ـ محصول (شرکت فناوری‌های لونت، شرکت بین‌المللی فیلیپس)؛
- مسیرنماهای پروژه/ مسئله (برای مدیریت پروژه).

از این کاربردهای متنوع، یک "گونه‌شناسی" قابل استخراج است که تلاش می‌کند تا مسیرنماها را بر اساس موقعیت‌شان در فضای کاربرد ـ هدف دسته‌بندی کند.



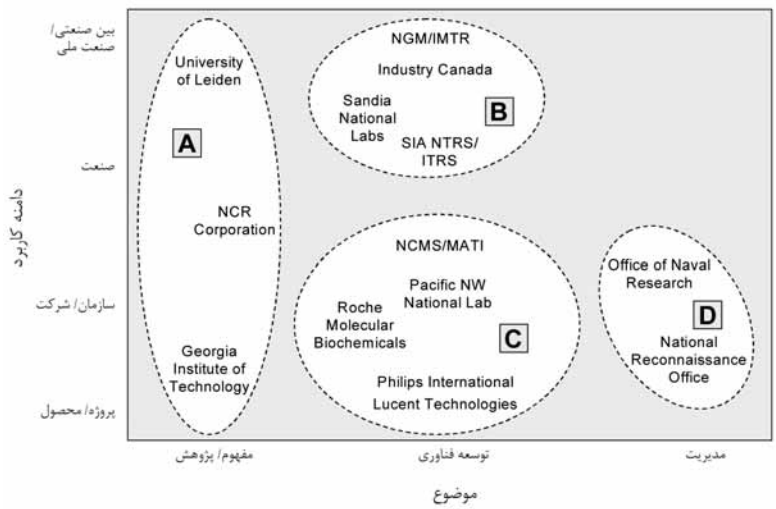
شکل ۲. گره‌ها و رابط‌ها در یک مسیرنمای کلی علم و فناوری

1. Rodner, 1998
2. Industry-based
3. Schaller, 1999; Kappel, 1998; Koostoff, 1997
4. Coswell
5. "Digest" NGM, 1997
6. ONR, 1998

این کاربردهای مستقل مسیرنما را می‌توان در سطح وسیعی دسته‌بندی‌نمود:

- نقشه‌ها یا مسیرنماهای علوم و فناوری؛
- مسیرنماهای فناوری صنعتی؛
- مسیرنماهای سازمانی (کلان) یا محصول- فناوری؛
- مسیرنماهای مدیریت محصول/ سبد محصولات یا پورتفولیو؛

به‌علاوه، در بعضی حوزه‌های علم و فناوری، سلسله مراتب مسیرنماها در ادبیات موضوع در حال گسترش است. در جدیدترین فهرست کتب در دسترس، از ۴۰۰ مرجع مشخص مربوط به مسیرنماها، از نیمه‌رساناها گرفته تا آلومینیوم و چوب و محصولات کاغذی، حداقل ۲۵ مورد از آنان، مسیرنمای فناوری صنعتی جامع هستند[1]. در برخی از این مسیرنماهای صنعتی مرتبط با فناوری، می‌توان مسیرنماهای محصول، و حتی اجزای محصول را ردگیری نمود. یک نمونه خوب از این یکپارچگی، صنایع الکترونیک ایالات متحده است که در مسیرنماهای فناوری طرح ملی ساخت و تولید الکترونیک[2] با مشارکت بیش از ۱۷۵ سازمان ارائه شد[3]: مسیرنماهای طرح ملی ساخت و تولید الکترونیک برای شناسایی شکاف‌های موجود بین فعالیت‌های پژوهشی و زیرساختی صنعت و دولت طراحی شدند. این مسیرنماهای سیستم‌محور[4] در صورت امکان به مسیرنماهای موجود وصل می‌شوند. به عنوان نمونه انجمن صنعت نیمه‌رسانا، انجمن توسعه صنعت الکترونیک نوری[5]، مؤسسه پیونددهی و بسته‌بندی مدارهای الکترونیکی[6]، کنسرسیوم صفحه‌نمایش ایالت متحده[7]، کنسرسیوم ملی صنعت ذخیره‌سازی[8]. در اینجا هیچ قصدی برای

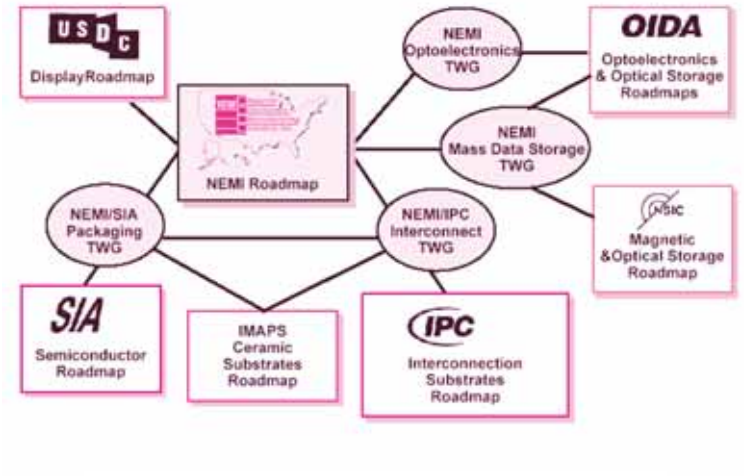


شکل ۳. گونه‌شناسی مسیرنماها

دوباره‌کاری نیست. به عنوان نتیجه، مسیرنماهای این طرح ملی، تمام صنعت الکترونیک را پوشش می‌دهد و بر یکپارچگی تمام بنگاه‌های ساخت و تولید الکترونیک تأکید می‌کند.

کاربردها و مزایای مسیرنماسازی

گارسیا و بری[9] به تشریح کاربردها و مزایای عمده‌ای که از تدوین مسیرنمای فناوری به‌دست می‌آید، پرداخته‌اند. یافته‌های آنان به آسانی



شکل ۴. تعاملات مسیرنمای طرح ملی ساخت و تولید الکترونیک (۱۹۹۸)

1. Seholler, 1999
2. National Electronics Manufacturing Initiative (NEMI)
3. NEMI, 1998
4. System-driven
5. Optoelectronics Industry Development Association (OIDA)
6. Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits (IPC)
7. United States Display Consortia (USDC)
8. National Storage Insustry Consortia (NSIC)
9. Garcia and Bray, 1998

می‌تواند برای استفاده در کاربردهای علمی، گسترش یابد.

سه کاربرد اصلی عبارتند از:

۱. مسیرنما به ایجاد وفاق و اجماع میان تصمیم‌گیران در مورد مجموعه نیازهای علم و فناوری کمک می‌کند.

۲. مسیرنماسازی ساز و کاری را برای کمک به متخصصان برای پیش‌بینی پیشرفت‌های علم و فناوری در حوزه‌های موردنظر، فراهم می‌کند.

۳. مسیرنما چارچوبی به منظور تسهیل برنامه‌ریزی و هماهنگی پیشرفت‌های علم و فناوری در همه سطوح ارائه می‌دهد: درون یک سازمان یا شرکت، در سر تا سر یک بخش یا صنعت، حتی در سطوح بین صنعتی، ملی و یا بین‌المللی.

به طور کلی، مزیت عمده مسیرنماسازی علم و فناوری گردآوری اطلاعات برای ارتقای تصمیمات سرمایه‌گذاری در حوزه علم و فناوری است. کپل[1] معتقد است فرآیند مسیرنماسازی نه تنها تصمیمات مجزای آگاهانه‌تری خلق می‌کند، بلکه باعث هم‌راستایی بیشتر با تصمیم‌گیری‌های سازمانی می‌شود.

یک نمونه از این نوع تأثیر توأم با هم‌افزایی، در شرکت فناوری‌های لوسنت[2] در قالب آشکارسازی نیازهای فناوری مشترک از طریق بازنگری مسیرنماهای مختلف[3] مشاهده گردید. از طریق یک بازنگری سطح بالا از مسیرنماهای چندگانه محصول ـ فناوری ارتباطات بی‌سیم، مشخص شد که همه مسیرنماهای اختصاصی، نیازی را برای دستیابی به فناوری‌های باطری و آنتن، مورد توجه قرار داده‌اند. به کمک این اطلاعات، دفتر راهبرد فناوری کلان قادر شد تا اشتراک و ترکیبی از تحقیق و توسعه، مسیر تأمین و دیگر منابع مشترک را پیشنهاد دهد[4].

پرابرت و شهاب‌الدین در توصیف خود از مسیرنمای فناوری به عنوان روشی رسمی برای سازمان‌ها برای ارزیابی پیشرفت‌های فناورانه آینده در محیطی کاملاً متغیر، نگاه از منظر سیستم‌ها[5] نسبت به دگرگونی فناوری را فرصتی کلیدی برمی‌شمرند:

"یک جنبه مهم فن مسیرنماسازی، طرز کار چندرشته‌ای[6] و بین‌کارکردی[7] آن است که در راستای تأمین هدایت عمومی تمام سازمان مورد نیاز است."

سرانجام رادنور توضیح داد که هنوز مزایای درازمدت مسیرنماسازی در حال تحقق یافتن می‌باشد:

"از آنجایی که مسیرنماسازی موضوعی نسبتاً جدید است، هنوز مشخص نیست به چه مقدار زمان برای آشکار کردن مزایای گوناگونش نیازمند است. اما آنچه بدیهی است، نیاز ما به فرآیند آموزش یا حتی بازسازی فرآیندهای مربوط می‌باشد که باعث افزایش زمان در بازدهی می‌شود. احتمالاً سرمایه‌گذاری اولیه زیادی به خصوص برای آموزش موردنیاز است تا با پیاده‌سازی اولین نمونه‌ها، بتوان با محاسبه هزینه ـ منفعت آن، پیاده‌سازی‌های بعدی فرآیند مسیرنماسازی را بهبود بخشید. همچنین، پیش‌بینی می‌شود که مسیرنماسازی با تکامل خود در جهت یکپارچه‌سازی ابعاد جدیدی رشد نماید که پیام فرآیند مسیرنماسازی را دریافت کرده باشند. از قبیل روش پرت[8] که شاید بخشی از تعریف مجدد نقش مدیر پروژه باشد.

مسیرنماها و انتقال فناوری

یکی از اهداف این گزارش، توجه به نقش ویژه‌ای است که مسیرنماها در ارتقای کارایی فرآیند انتقال فناوری برعهده می‌گیرند. تسریع انتقال فناوری از یک سطح توسعه به سطحی دیگر نیازمند سه عنصر اساسی است:

۱. باید اطلاعاتی راجع به سطح فعلی فناوری یا علم وجود داشته باشد و در دسترس کاربران بالقوه باشد؛

۲. باید نیاز به علم تبدیل‌شده یا فناوری بیشتر توسعه‌یافته، وجود داشته باشد؛

۳. کارآفرین باید مخاطرات اساسی موجود برای توسعه بیشتر علم و فناوری را به منظور پشتیبانی از توسعه بیشتر آن بپذیرد.

سرمایه‌گذاران باید متقاعد شوند که همه مخاطرات ناشی از توسعه علم و فناوری، توسط دستاوردهای بالقوه آنها قابل توجیه است. تعیین جایگاه گام "تبدیل علم و فناوری" در کل مسیر حرکت از پژوهش تا کاربردهای پر بازده، امری کلیدی برای کسب سود توسط سرمایه‌گذار محسوب می‌شود. تلاش‌های نظام‌مند نسبتاً کمی در مورد ادغام نیازها با علم و فناوری انجام شده است.

دلایل اساسی وجود دارد که بیان می‌کند چرا پیشرفت‌های کمی روی روش‌شناسی‌ها برای شناسایی ویژگی‌های این ارتباطات انجام شده است.

مسیرهای فراوانی بین علم و فناوری و کاربردهای احتمالی آنها وجود دارد که لزوماً خطی یا یک‌طرفه هم نیستند و نیازمند مقادیر قابل توجه و مختلفی از داده‌ها هستند. برای تشریح دقیق این رابطه‌ها، به دقت و تلاشی اساسی نیاز است و برای بیان واضح و تشریح حجم انبوهی از داده‌ها در قالبی قابل درک برای سرمایه‌گذاران بالقوه، اندیشه‌ای بنیادین مورد نیاز است.

پیشرفت‌های اخیر در زمینه رایانه‌های رومیزی

1. Kappel, 1998
2. LUCENT Technology
3. Cross-roadmap
4. Albright, 1998
5. Systems View
6. Multi-disciplinary
7. Cross-Functional
8. PERT

با سرعت بالا و توان ذخیره‌سازی زیاد، الگوریتم‌های هوشمند برای داده‌کاوی و دیگر ابزارها، امکان ابداع و توصیفی کارا و مؤثر از این مسیرهای علم و فناوری را ایجاد کرده‌اند و به عنوان مبنایی برای بیشتر تحلیل‌های تفصیلی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ارزش اصلی مسیرنماها، به‌عنوان تصمیم‌یار در فرآیند تبدیل علم و فناوری در تمامی مراحل فرآیند تهیه مسیرنما، ارتقای تمایل حامیان یا سرمایه‌گذاران به توسعه بیشتر علم و فناوری است.

در برنامه‌ریزی مسیرنما، روحی که در همه عناصر ساختاری آن جاری است، شامل این مفاهیم است: میزان توسعه، مصالحه یا فرصت‌های از دست‌رفته و هزینه‌ها و دستاوردهای بالقوه. در ایجاد مسیرنما، متخصصان در سطوح مختلف توسعه و دستاوردها مشارکت می‌کنند. مخاطرات، هزینه‌ها و مزایای بالقوه شناخته می‌شوند. هنگامی که مسیرنمای کامل شده بین طرف‌های علاقه‌مند توزیع می‌شود، تصمیمات مربوط به پیگیری تبدیل علم و فناوری می‌تواند با فهم بیشتری از بافت توسعه اتخاذ شود.

اگر تحلیل مسیرنما، دست‌آوردهای بالقوه زیادی را نشان دهد، وجود قهرمانانی بالقوه به عنوان مشارکت‌کننده در فرآیند برنامه‌ریزی، توسعه و توزیع مسیرنما، می‌تواند احتمال افزایش، شدت و تأثیر پشتیبانی‌ها را بهبود بخشد.

اگر تحلیل مسیرنما، مدرک متقاعدکننده‌ای را برای دستاوردهای آتی نشان ندهد (که در واقع، یا ذاتاً دستاوردهای بالقوه‌ای وجود ندارد یا به دلیل فقدان آگاهی تهیه‌کنندگان مسیرنما از آن‌ها باشد)، ممکن است علم و فناوری پیشرفت بیشتری نکند.

بنابراین، مسیرنما می‌تواند در غربال فناوری‌های کمتر نویدبخش، از آنهایی که خوش‌آتیه هستند به ما یاری رسانند. اگر تحلیل مسیرنما، دستاورد بالقوه زیاد ولی با حداکثر مخاطرات و هزینه‌های ممکن را نشان دهد، پشتیبانی برای کاهش مخاطرات مقدماتی مراحل توسعه، محدود به بخش‌های دولت خواهد شد.

بخش بعدی دو رویکرد مسیرنماسازی متخصص‌محور[1] و رایانه‌محور[2] را تشریح می‌کند. سپس، با استناد به منابع تمایز روش‌شناسی‌های تدوین مسیرنما نشان داده می‌شود. به‌علاوه، براساس چشم‌انداز زمانی گذشته‌نگر و آینده‌نگر تمایزهای بیشتری که در روش‌شناسی وجود دارد، ارائه خواهد.

فرآیند مسیرنماسازی

مطالعه جامع ادبیات موضوع مبین وجود گونه‌های زیادی از مسیرنماها است که می‌توانند در دو رویکرد بنیادین مسیرنماسازی "متخصص محور" و "رایانه محور" گنجانده شوند.

رویکرد متخصص‌محور

در این رویکرد، گروه یا گروه‌هایی از متخصصان به منظور شناسایی و تدوین ویژگی‌های گره‌ها و رابطه‌های مسیرنما، گرد هم می‌آیند. برای نمونه، توسعه مسیرنمای "انجمن صنعت نیمه‌رسانا" با مشارکت ۱۲ کارگروه فناوری[3] مختلف در رشته‌های محوری شامل طراحی، مونتاژ و بسته‌بندی، چاپ و حوزه‌های فناوری بین‌رشته‌ای[4] همانند محیط زیست، امنیت و بهداشت تدوین شده است. به علاوه این کارگروه‌های فناوری، ترکیبی چند ملیتی از صنعت، دولت و دانشگاه دارند تا تخصص و دیدگاه‌ها متوازن باشد.

این فرآیند تاحدودی دارای تناقض است. چون باید مسیرنما به کمک متخصصان ایجاد گردد. اما در حقیقت، تخصص کافی تنها بعد از اینکه مسیرنمای کامل ایجاد شد، به‌دست می‌آید. بنابراین تکرار فرآیند توسعه مسیرنما امری ضروری است.

آشکارترین مورد قابل ذکر، به هنگام سازی مسیرنمای "انجمن صنعت نیمه‌رسانا" در سال ۱۹۹۷ است که بیش از ۶۰۰ دانشمند و مهندس طی دوره‌ای بیش از ۲ سال در آن مشارکت داشتند[5]. در واقع مسیرنمای "انجمن نیمه‌رسانا" در فرآیند تکاملی خود، روزآمدسازی چهارم و فعلی[6] را که تقریباً بلافاصله بعد از ویرایش ۱۹۹۷ شروع شد، پشت سر گذاشته است.

برای یک سازمان که شمار زیادی از عناصر مسیرنما به صورت درونی پیگیری می‌شوند، همانند یک دولت بزرگ متمرکز یا آزمایشگاه بزرگ، عمده تخصص به صورت داخلی تأمین می‌شود. در این حالت، پژوهشگران، توسعه‌دهندگان، بازاریابان و دیگر کسانی که دانش مربوط به مسیرنما را دارند، می‌توانند بلافاصله گرد هم آیند و چارچوب را توسعه بخشند.

اما در مقابل، سازمان‌های با تخصص کم در حیطه مسیرنما مانند گروه‌های سرمایه‌گذاری مخاطره‌پذیر یا سازمان‌های سرمایه‌دار که در پی توسعه مرزهایشان هستند، برای توسعه مسیرنمایی قابل اتکا، به مساعدت بیرونی احتیاج دارند.

بر اساس اهداف اصلی مسیرنما، گروه می‌تواند فرآیند را از مرحله اول توسعه (پژوهش بنیادی)، مرحله میانی (توسعه فناوری)، یا آخرین مرحله (توسعه محصول) آغاز کند و باقی‌مانده مسیرنما را تکمیل نماید.

1. Expert-based
2. Computer-based
3. Technology Working Groups (TWGs)
4. Cross-Cut
5. Gargini, Glaze and William, 1998
6. 1999

اکثر مطالعات گذشته‌نگر، با یک محصول نهایی موفق که قبلاً به دست آمده است، آغاز می‌شود و برای شناسایی ویژگی‌ها و یا حامیان پدیده‌های تحقیق و توسعه موفق در جهت گذشته، حرکت می‌کند. برخی مطالعات گذشته‌نگر با نگاه به گذشته با اعطای مشوق پژوهشی اولیه‌ای آغاز می‌شود و بقیه مسیرنما برای رسیدن به محصولی که امروزه وجود دارد، به پیش می‌رود.

در مسیرنماهای آینده‌نگر، فشار فناوری[1] با نگاه به آینده با پروژه‌های پژوهشی موجود آغاز می‌شود و بقیه مسیرنما را به منظور شناسایی انواع توانمندی‌هایی که این پژوهش می‌تواند به آنها منجر شود، تکمیل می‌کند.

برای نمونه مسیرنمای "انجمن صنعت نیمه‌رسانا" بر اساس تعمیم قانون مور[2] تدوین شده که مبین نرخ رشد نمایی بهره‌وری صنعت نیمه‌رسانا در ۱۵ سال آینده نیز می‌باشد.

در سال ۱۹۶۵ گوردن مور[3] ادعا کرد که تراکم ترانزیستورها در مدارهای مجتمع (تراشه‌ها) دو برابر شده است و این امر در یک چارچوب منظم ادامه خواهد یافت. در ابتدا مور یک نرخ سالانه را برای دو برابر شدن در نظر گرفت؛ سپس او نرخ دو برابر شدن را به هر دو سال یک بار کاهش داد. در نهایت، برای ایجاد اجماع، نرخ دو برابر شدن تراکم مدار را به هر ۱۸ ماه کاهش داد. این قانون، قانون مور نامیده شده است.

قرار گرفتن روی این مسیر کلیدی، باعث موفقیت مداوم صنعت در آینده می‌شود. جردن مور گفته است "اگر بتوانیم روی مسیرنمای انجمن صنعت نیمه‌رسانا ثابت قدم بمانیم، قطعاً می‌توانیم بر منحنی قانون مور نیز باقی بمانیم".

از سوی دیگر، کشش نیاز در مسیرنماهای آینده‌نگر، با تمایل به محصولات غایی آغاز می‌شود (مانند وسیله نقلیه با بهره‌وری بالا از نظر مصرف سوخت، یا سیستم‌سلاح دفاعی آینده) و سایرین، مسیرنما را برای شناسایی علم و فناوری که برای رسیدن به این محصولات لازم هستند، تکمیل می‌کند. حالت بینابین نیز، "مسیرنماهای آینده‌نگر فشار فناوری/کشش نیازها"[4] هستند که با برنامه‌های توسعه علم و فناوری موجود که ممکن است فناوری‌محور[5] یا نیازمحور[6] باشند، آغاز می‌شوند و در آنها هم شکاف‌های پژوهشی که مانع پیشرفت هستند و هم تنوع محصولات نهایی که می‌توانند منجر به توسعه موفق شوند، شناسایی می‌شوند.

ترکیبی از مسیرنماهای گذشته‌نگر و آینده‌نگر نیز وجود دارد. این مسیرنماها، روند تاریخی توسعه فناوری را با چشم‌انداز اوج فناوری ترکیب می‌کنند. این مسیرنماها در بازنگری‌های برنامه‌ها پژوهشی جاری مفید هستند. این مسیرنماهای ترکیبی، تصویر واضحی از منشاء و روند توسعه پیشین یک برنامه و هماهنگی آن با محیط علم و فناوری بیرونی را تأمین می‌کند و نشانه‌هایی را از اینکه برنامه در کجا بر طبق دیدگاه پیش‌برنده‌هایش[7] به اوج می‌رسد، ارائه می‌دهد.

در همه این موارد، کانون اصلی رویکرد متخصص محور، جلب دانش و تجربه متخصصان برای شناسایی روابط ساختاری در میان شبکه، و مشخص کردن خواص کمی و کیفی رابط‌ها و گره‌هاست.

رویکرد رایانه‌محور

در این رویکرد، پایگاه‌های بزرگ داده که به تشریح علم، فناوری، مهندسی و محصولات نهایی می‌پردازند، مورد توجه تحلیل‌های رایانه‌ای هستند. پایگاه داده‌ها می‌تواند مقالات منتشرشده، گزارش‌ها، نتایج برنامه‌ها و... را در بر گیرد. به واسطه کاربرد روش‌شناسی‌های عمومی رایانه‌ای، که زبان‌شناسی محاسباتی و تحلیل ارجاعی را در بر می‌گیرد، حوزه‌های پژوهش، فناوری، مهندسی و محصول شناسایی می‌شوند؛ اهمیت نسبی آنها برآورد می‌شود؛ و روابط و ارتباطات آنها برای دیگر حوزه‌ها شناسایی و کمیت‌یابی می‌شوند.

در مقابل رویکرد متخصص‌محور، رویکرد رایانه‌ای عینیت بیشتری دارد. این رویکرد،

1. Technology-Push
2. Moore's Law
3. Gordon Moor
4. Technology-Push/ Requirement-Pull Prospective roadmaps
5. Technology-driven
6. Requirement-Driven
7. Promoters

محدودیت‌ها، الزامات و تمایلات پیش‌داورانه و طرح‌های شخصی و سازمانی متخصصان را ندارد. رویکرد زبان‌شناسی محاسباتی رایانه محور بر خلاف رویکرد متخصص محور، در یک زمان مشخص آغاز نمی‌شود و در حرکت رو به جلو و رو به عقب در زمان تکامل می‌یابد. این روش به صورت همزمان شبکه‌ای از پایگاه داده‌های مرجع را در کل بازه زمانی تولید می‌کند.

معمولاً تغییرات زمانی توسط آزمایش‌تمامی شبکه‌های حاصل در زمان‌های مختلف، فراهم می‌شود. رویکردهای ارجاع، ضمن حرکت در یک مسیر تاریخی، از مقاله‌های مورد استناد به مقاله‌های استناد کننده برای تولید جنبه‌های زمانی شبکه ارجاع، استفاده می‌کنند. به دو دلیل اکثر مطالعات زبان‌شناسی محاسباتی رایانه‌محور بر روابط ساختاری رشته‌ها و برنامه‌های علم و فناوری متمرکز شده‌اند:

۱. هدف اصلی‌شان همین بوده است؛

۲. پایگاه‌های داده مرجع تمایل به در بر گرفتن مقدار زیادی از این نوع اطلاعات را دارند.

این تمرکز، محدودیتی مفهومی در فرآیند نیست، بلکه بیشتر یک محدودیت اجرایی در پیاده‌سازی است که توسط اهداف پژوهشی مختلف و منابع اطلاعاتی اضافی قابل حل می‌باشد. این رویکرد رایانه‌محور در مراحل اولیه خود می‌باشد که تنها به ظهور طیفی از پایگاه‌های داده بزرگ متنی مربوط و رویکردهای زبان‌شناسی محاسباتی کارآمد برای استخراج اطلاعات، منتهی گردیده است.

رویکرد ترکیبی

دیگر محدودیت ممکن در رویکرد رایانه محور، نبود تعامل میان متخصصان است که اتفاقاً برای فرآیند مسیرنما سازی حیاتی است.

رادنور اذعان می‌دارد "شرکت‌ها می‌خواهند مسیرنما سازی را مکانیزه کنند، اما حجم زیادی از فعالیت‌های مربوط به آن در خارج از کتاب‌ها است. مسیرنماسازی موضوعی سیاسی است و شامل مذاکره‌های مکرر می‌باشد".

بنابراین، شاید ترکیبی متوازن از رویکردهای متخصص‌محور و رایانه‌محور، رویکردی با بازدهی و کارایی بیشتر برای مسیرنما سازی باشد. در مجموع باید گفت، هر دو رویکرد متخصص‌محور و رایانه‌محور ارزش پیشنهاد کردن را دارند و باید بهترین ویژگی‌های هر یک در جهت نتایج بهینه، شناسایی، استخراج و به کارگرفته شود.

بخش بعدی، شامل مروری تاریخی بر مسیرنماسازی‌های گوناگون یا تحلیل‌های از جنس مسیرنما سازی است که به عنوان چارچوبی برای پیشبرد آزمون اصول کیفیت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اصول مسیرنماهای با کیفیت

بخش قبلی این مقاله تعاریف، طبقه‌بندی‌ها و الگوهای مسیرنما را ارائه داد. یکی از جذاب‌ترین مسائل پژوهشی، تعیین و ارزیابی کیفیت و اثربخشی فرآیندها و محصولات نهایی مسیرنماسازی است. بخش حاضر، مسیرنماها را از دیدگاه‌کیفیت محصول بررسی نموده و الزامات و اصول تدوین مسیرنماهای با کیفیت را پیشنهاد می‌کند.

ارزیابی کیفیت و اثربخشی مسیرنما

یک مشکل عمده در ارزیابی مسیرنماهای منتشر شده این است که خواننده قادر به تعیین کیفیت آنها نیست. آزمون‌های کیفیت عینی و مستقلی برای آن وجود ندارد. یعنی بر خلاف علوم مهندسی و فیزیکی، استانداردهای مرجع اساسی و ملموس برای محک‌زدن محصول مسیرنما وجود ندارد.

همان‌طور که گفته شد، شاخص‌های اندازه‌گیری کیفیت مسیرنما نیز شفاف نیستند. به عنوان مثال، فرض کنید یک مسیرنمای آینده‌نگر فشار فناوری برای باتری‌های با تراکم بالای انرژی ایجاد شده است. حتی تصور کنید ۱۵ سال بعد از اینکه مسیرنما تهیه شده است یک ارزیابی از پیش‌بینی‌های مسیرنما در مقایسه با حد اعلای پیشرفت[1] باتری انجام شود. حتی بیشتر، تصور کنید که ارزیابی نشان داد که طرح توسعه مسیرنما به دقت توسط جامعه فنی پیگیری شد و اهداف فنی بلند مدت مبتنی بر پیشگویی‌های مسیرنما نیز کاملاً محقق شده است. آیا این نشان می‌دهد که مسیرنما کیفیت بالایی داشته است؟ الزاماً نه. توسعه‌دهندگان مسیرنما شاید در اهداف‌شان خیلی محافظه‌کار بوده‌اند و برای توسعه مسیرنما به اندازه‌ای که فناوری اجازه می‌داده است جنب و جوش[2] نداشته‌اند.

همچنین شاید توسعه دهندگان در دیدگاهشان خیلی محدود شده بودند و شاید برای توسعه باتری‌ها به بیشترین ظرفیت‌شان، به اندازه کافی از رشته‌های دیگر یاری نگرفته‌اند. می‌توان گفت مسیرنما در پیشگویی اهدافی که به‌دست آمده‌اند، دقیق بوده است. ولی دور از ذهن نیست که بهترین اهداف پیشگویی نشوند. از طرف دیگر، شاید مسیرنما در این قالب بیشترین کیفیت را دارا بوده است. شاید توسعه‌دهندگان خیلی اهداف جاه‌طلبانه‌ای داشته‌اند و شاید از حوزه‌های دیگر نیز در جهت دستیابی به بیشترین ظرفیت ممکن بهره برده باشند.

1. State-of-the-art
2. Push the Envelope

نمونه‌ای از این امر، مسیرنمای "انجمن صنعت نیمه‌رسانا" است. کسی می‌تواند بگوید که مسیرنمای "انجمن صنعت نیمه‌رسانا" موفق نبوده است که حقیقتاً به دقت، آینده‌نگری آن را سنجیده باشد. این مسیرنما به طور جامع تصدیق می‌کند که نسل‌ها یا گره‌های فناوری آینده (منتج از مسیرنماهای قبلی) به صورتی تحریک شده یا شتاب یافته طرح‌ریزی شده‌اند. بسیاری معتقدند که خود فرآیند مسیرنما اگر چه هنوز چالش برانگیز است، مبتنی بر وفاق[1] است و در رفتار مشاهده شده در همه صنعت در واکنش نسبت به مسیرنما سهیم بوده است. در ارزیابی کلی موفقیت مسیرنمای "انجمن صنعت نیمه‌رسانا"، اکثراً شتاب فناوری را به‌عنوان پیامدی بسیار مثبت می‌نگرد.

موضوعی که در اینجا به آن پرداخته می‌شود، مفاهیم مربوط به کیفیت مسیرنما و شاخص‌های اندازه‌گیری وابسته به آن که بسیار پیچیده و گیج‌کننده هستند، اما در عین حال، در صورت تبدیل مسیرنماها به یک ابزار قابل‌استفاده مفید، بسیار حایز اهمیت هستند.

یک مسیرنمای باکیفیت به شرایط ذیل نیازمند است:

۱. قسمت گذشته‌نگر باید بازتابی جامع از روند تکامل و روابط همه علوم و فناوری‌های حیاتی باشد که پیامد آن به فناوری مورد نظر کنونی منتهی شده است؛

۲. قسمت مربوط به زمان حال باید انعکاسی گسترده و جامع از تمامی علوم و فناوری‌های حیاتی مربوط به فناوری موردنظر باشد؛

۳. باید طرح‌ریزان در قسمت آینده‌نگر تا حدی چشم‌انداز را به تصویر بکشند و همه حوزه‌های حیاتی علم و فناوری که مربوط به فناوری مورد نظر و اهداف طرح‌ریزی شده هستند را یکپارچه نمایند.

دسترسی گسترده‌تر به سرتاسر طیف علم و فناوری، فرصت بیشتری برای برون‌یابی بینش‌ها و نوآوری‌ها از حوزه‌های پیوسته و متمایز به منظور پیشبرد فناوری محوری مورد نظر فراهم می‌کند.

بنابراین، یک مسیرنمای با کیفیت، متناظر با یک تصویر واضح و شفاف است که به صورتی روشن روند تکامل روابط میان حوزه‌های علم و فناوری که مرتبط با فناوری مسیرنما هستند را تشریح می‌کند و به طور ویژه، مفاهیم آگاهی، هماهنگی، چشم‌انداز، ارتباط و کمال را با هم ترکیب می‌کند.

عوامل کلیدی در مسیرنماهای با کیفیت

بیشتر نیازهای مشخص یا اصول بنیادی لازم برای مسیرنمای با کیفیت می‌توانند به صورتی قاعده‌مند بیان شوند:

تعهد مدیریت ارشد[2]

مهمترین عامل، تعهد مدیریت ارشد سازمانِ توسعه دهنده مسیرنما همراه با عزم جدی به ایجاد مسیرنماهای باکیفیت و حمایت از طریق پاداش‌ها و مشوق‌ها به‌منظور تشویق و برانگیختن چنین مسیرنماهایی است. این تعهد باید در جهت فرآیند مسیرنما سازی راهبردی و بلندمدت باشد، نه این‌که به شکل یک رویداد، فقط یک بار آن هم به شکل مستقل انجام شود.

نقش مدیر مسیرنما[3]

عامل مهم بعدی انگیزه مدیر توسعه مسیرنما در ایجاد یک مسیرنمای معتبر فنی و آینده‌نگر است. مدیر مسیرنما، شرایط مرزی و محدودیت‌ها را در حوزه مسیرنما تعیین می‌کند، ساختار کارگروه‌ها را ایجاد می‌کند و عناصر نهایی مسیرنما را از بین هزاران ورودی، انتخاب می‌کند. در برخی سازمان‌ها، مدیر پروژه در تعیین فرآیند و عناصر توسعه کامل مسیرنما آزادی عمل دارد و روی ساختار همراهان مسیرنما به همراه تخصص لازمه آنها تصمیم‌گیری می‌کند.

صلاحیت و شایستگی همراهان و گروه تدوین مسیرنما[4]

صلاحیت و دیدگاه متخصصان مشارکت‌کننده بسیار مهم است. باید هر متخصص در حوزه زیر نظر خود از صلاحیت فنی برخوردار باشد و کل گروه توسعه مسیرنما باید بر ابعاد چندگانه پژوهش، فناوری، حوزه‌های مأموریتی و خط تولید را که وابستگی حیاتی به حوزه علم و فناوری مورد نظر کنونی دارند، پوشش دهد.

همچنین، نباید تمرکز تیم، صرفاً بر حوزه‌های مرتبط با فناوری فعلی که مایل به تقویت چرخه وضعیت موجود و متعهد به توسعه در امتدادی بسیار محدود است، باشد.

بلکه باید به سوی رشته‌ها و فناوری‌هایی گسترش یابد که ظرفیت تحت تأثیر قرار دادن بالاترین اهداف مسیرنما را داشته باشد.

در واقع توجه مساوی به الگوهای ذهنی و نوآوری‌های انقلابی جدید نیز وجود داشته باشد.

توجه به ذی‌نفعان[5]

یک مسیرنما برای موفقیت باید درکی آشکار از اهداف و مالکیت داشته باشد. بنابراین، با وجود آنکه دولت، دانشگاه‌ها و کنسرسیوم‌ها، بازیگران مهمی محسوب شوند، مسیرنماهای صنعت زمانی که توسط صنعت هدایت می‌شوند،

1. Consensus-driven
2. Senior Management Commitment
3. Role of Roadmap Manager
4. Competence of Roadmap Paticipants/Team
5. Stakeholder-driven

بیشترین موفقیت را دارا هستند. همچنین، مسیرنماهای محصول ـ فناوری توسط کسانی که در برابر دستاوردهای آن مسئول هستند، بهتر انجام می‌شوند (مثلاً مدیر تولید).

عمومی‌سازی و استانداردسازی[1]

برای مسیرنماهایی که به‌عنوان چارچوبی برای مقایسه پروژه‌ها و برنامه‌های علم و فناوری استفاده خواهند شد، یک عامل مهم دیگر، عمومی‌سازی و استاندارد سازی در مسیرنماهای گوناگون، گروه‌های توسعه و حوزه‌های علم و فناوری است.

برای حوزه‌های علم و فناوری که تا حدودی به هم شباهت دارند، استفاده از متخصصان مشترک (در تیم‌های توسعه) با پیشینه‌هایی گسترده که به رشته‌های مختلف احاطه دارند، می‌تواند تا حدودی باعث استانداردسازی شود. برای حوزه‌های بسیار متمایز علم و فناوری، باید اجازه داده شود تا ارزش راهبردی نسبی هر حوزه نزد سازمان تبیین شود و انحرافات و تفاوت‌ها در تخمین سود مورد اصلاح واقع گردد.

ضوابط مسیرنما[2]

برای انتخاب اجزای مسیرنما ضوابطی لازم است. برای مسیرنماهای گذشته‌نگر که متمرکز بر رخدادهای حیاتی علم و فناوری گذشته که منجر به فناوری‌ها/ سیستم‌های موفق شده‌اند، هستند تعریف ضوابط "موفقیت" و "کلیدی‌بودن" از بیشترین اهمیت در تعیین اعتبار مسیرنما، برخوردار است.

در همه مسیرنماها تعریف ضوابط به منظور انتخاب گره‌ها، کمّی نمودن گره‌ها و رابط‌ها، حیاتی است.

قابلیت اطمینان[3]

عامل دیگر که اهمیتی مشابه "ضوابط" دارد، قابلیت اطمینان یا تکرارپذیری است. اگر یک گروه توسعه کاملاً متفاوت درگیر تدوین مجدد یک مسیرنما شوند، چه مقدار از مسیرنمای پیشین تکرار خواهد شد؟

اگر هر گروه توسعه به دنبال ایجاد یک مسیرنمای کاملاً متفاوت برای موضوعی واحد بروند، آنگاه چه معنی، اعتبار یا ارزشی می‌توان به مسیرنما اختصاص داد؟ برای به حداقل رساندن مسائل تکرارپذیر، باید بخش اعظم جامعه فنی ذی‌صلاح (تا حد امکان در چارچوب محدودیت‌های سازمانی) درگیر ایجاد و بازنگری مسیرنما شوند.

ارتباط با اعمال آتی[4]

عامل دیگر همتراز با "ضوابط"، ارتباط مسیرنما با اعمال آتی است. هر مسیرنمای علم و فناوری، و داده‌های مربوط، که در مطالعه‌ای ارائه می‌شوند، باید یک تمرکز تصمیم داشته باشند؛ باید پاسخگوی پرسشی باشد که خود مبنایی به منظور ارائه توصیه برای اعمال آینده باشد.

مسیرنماهایی که این کارکرد را ندارند، بدون اینکه هیچ‌گونه بینشی خلق کرده و سهمی در تصمیم‌گیری‌ها داشته باشند، به پایان راه خود می‌رسند.

هزینه[5]

یک عامل کلیدی دیگر، هزینه است. کل هزینه‌های واقعی تهیه یک مسیرنمای باکیفیتِ همراه با مشارکت گسترده افراد مختلف می‌تواند قابل توجه باشد (اما باید لحاظ گردد). برای مسیرنماهای باکیفیت، جایی که تخصص کافی ویژگی گروه توسعه است، بخش عمده‌ای از هزینه‌ها، مربوط به مقدار زمانی است که تمامی افراد درگیر در توسعه و بازنگری مسیرنما صرف می‌کنند. در صورت به کار گیری افراد با کیفیت در فرآیند توسعه و بازنگری، هزینه‌های زمانی زیاد خواهد بود و ممکن است کل هزینه‌های توسعه، افزایش یابد.

آگاهی از داده‌های جهانی[6]

عامل نهایی، آگاهی نسبت به داده‌های جهانی است. یک مسیرنمای کیفی باید همه پروژه‌های جهانی علم و فناوری، سیستم‌ها یا عملیات توسعه‌یافته و رخدادهایی را که به هر شکل، حامی یا مربوط به اهداف کلی مسیرنما است، در بر گیرد.

این عامل بنیادی برای راهبرد سرمایه‌گذاری علم و فناوری، چگونگی برنامه‌ریزی، انتخاب، مدیریت، هماهنگی، تکامل و انتقال یک برنامه یا یک بخش از علم و فناوری است. فرآیند کامل توسعه مسیرنما باید متضمن بیشترین بهره‌برداری از منابع جهانی علم و فناوری باشد و تا حد امکان از جدیدترین منابع فناوری اطلاعات استفاده گردد.

جمع‌بندی و توصیه

ده‌ها سال است که مسیرنماسازی توسط برخی سازمان‌ها و گاهی با عنوان‌های دیگر مورد استفاده قرار گرفته است. ولی هنوز پذیرش گسترده روش‌ها و تجربیات مسیرنماسازی امری نسبتاً جدید تلقی می‌شود. این گزارش، اولین کوشش در جهت نمایش وحدت بنیادی رویکردهای موجود درباره انواع مسیرنماها است که در ظاهر با هم متفاوت هستند.

1. Normalization and Standardization
2. Roadmap Criteria
3. Reliability
4. Relevance to Future Actions
5. Cost
6. Global Data Awareness

همچنین، این گزارش نخستین کوشش در تدوین ویژگی‌ها و اصول حاکم بر مسیرنماهای باکیفیت است. در این بخش، توصیه‌هایی برای علاقه‌مندان و پژوهش‌های آینده، ارائه می‌شود.

مسیرنماهای کارکردی

از دیدگاه برنامه‌ریزی و ارزیابی علم و فناوری، مسیرنماها، ابزارهای تصویرنگاری اساسی هستند که روابط میان برنامه‌های پژوهشی پیشنهادی یا موجود، برنامه‌های توسعه، اهداف توانمندی، و نیازها را شکل می‌دهند. به دلیل عدم‌قطعیت‌های ذاتی موجود در تحقیق و توسعه، همانند نیازهای در حال تکامل مستمر و اهداف توانمندی در برنامه‌های بزرگ، مسیرنماها باید برای لحاظ نمودن این تغییرات پویا یک ساختار کاملاً انعطاف‌پذیر داشته باشند. بنابراین، ارتباط "رابط‌ها" باید کارکردی باشد "نه ایستا"، و تغییراتی که در هر گره از شبکه مسیرنما انجام می‌پذیرد باید به صورت خودکار، سایرگره‌های شبکه را نیز به واسطه روابط کارکردی که بین دو گروه از طریق رابط انجام می‌پذیرد، تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، یک مسیرنمای مفید برای برنامه‌ریزی علم و فناوری، باید توانایی انجام مطالعات حساس درباره روابط میان اهداف توانمندی/نیاز و هزینه برنامه/ عملکرد و زمان‌بندی/ مخاطرات را برای طرح‌ریزان فراهم آورد؛ به‌علاوه، انعطاف‌پذیری کافی برای تعیین تغییرات هر پارامتر واقع در هر گره شبکه را نیز به طراحان آن بدهد.

مسیرنما باید از انعطاف‌پذیری کافی برای پاسخ‌دهی به مسایل زیر برخوردار باشد:

■ اگر اهداف مربوط به نیازهای یک برنامه توسعه افزایش یابد، چه الزامات عملکردی/ سرمایه‌گذاری/ زمان‌بندی جدیدی بر اجزای برنامه‌های علم و فناوری اعمال می‌شود؟

■ اگر یک برنامه پژوهشی جدید در یک برنامه توسعه با مقیاس بزرگ راه‌اندازی شود، چه الزاماتی برای اهداف توانمندی‌های درحال حصول و دیگر پارامترهای برنامه علم و فناوری شامل سرمایه‌گذاری، اهداف عملکردی و زمان‌بندی به همراه دارد؟ دیگر تأثیرات بالقوه روی اهداف

توانمندی غیر از تأثیرات مشخص که بر روی برنامه توسعه دارد، چه هستند؟

■ اگر سرمایه‌گذاری بر یکی از اجزای علم و فناوری در یک برنامه توسعه بزرگ تا حدی کاهش یافت، چه الزاماتی برای نایل شدن به اهداف توانمندی در مسیر آن مرحله مورد نظر وجود دارد؟ دیگر برنامه‌های علم و فناوری چگونه باید به منظور پرداخت هزینه بهینه اصلاح شوند؟

برای تضمین سازگاری میان:

۱. برنامه‌های تحقیق و توسعه که مبنای طرح‌های راهبردی و راهکاری هستند؛

۲. امکان‌پذیری اهداف توانمندی تعریف شده؛

۳. نیازهای برنامه/پروژه علم و فناوری

باید مسیرنماهایی ایجاد شود که از همه این عناصر برخوردار باشند. برای سودمندی عملی و کامل، مسیرنماهای مربوط به یک حوزه فنی باید همه برنامه‌های جهانی که مستقیم یا غیرمستقیم به علوم و فناوری‌های حوزه مربوطه وابسته هستند را پوشش دهند. مسیرنماهایی که صرفاً به سازمان داخلی یا برنامه‌های سازمانی محض محدود می‌شوند، می‌توانند گمراه کننده باشند و چارچوبی برای نتیجه‌گیری‌ها، توصیه‌ها و تصمیمات اشتباه ایجاد کنند. این مسیرنماهای غیرکامل، برنامه‌های غیرهماهنگ و مجزایی را تشکیل خواهند داد که شاید هیچیک از این مرزبندی‌ها و شکاف‌ها در واقعیت وجود نداشته باشد. الزام پوشش‌دهی جامع، نیاز به یکپارچه‌سازی مسیرنماسازی با دیگر فرآیندها و ابزارهای تصمیم‌یار سازمان از جمله بازیابی اطلاعات و توانمندی‌های داده کاوی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

مسیرنماها و یکپارچه‌سازی مسیرنماسازی

برای کسب بیشترین ثمربخشی، باید مسیرنماسازی و دیگر تصمیم‌یارهای مدیریتی کاملاً با برنامه‌ریزی راهبردی و عملیاتی سازمان یکپارچه شوند[1]. به کار گیری مسیرنماها به عنوان چسب‌زخم[2] یا فکر بعد از انجام[3] به عنوان توجیه تصمیمات، منجر به محصولی شکننده و دارای ظرفیت محدود برای پیاده‌سازی در سازمان خواهد شد. ترکیب مسیرنماسازی با برنامه‌ریزی راهبردی، بازیابی اطلاعات، داده‌کاوی، تکامل علم و فناوری و شاخص‌های اندازه‌گیری عملکرد سازمانی باید به خوبی در پیشرفت پیاده‌سازی فرآیند

1. Peet, 1998
2. Band-aid
3. After thought

مسیرنماسازی مورد ملاحظه قرار داده شود.

این مقاله با حمایت مرکز آینده‌پژوهی علوم و فناوری دفاعی معاونت پژوهش تدوین شده است.

منابع و مآخذ

1. Albright, Richard E. (1998), Roadmaps and Roadmapping for Commercial Applications, Presentation at the Technology Roadmap Workshop, Washington DC, October 29, 22p.

2. Battelle Columbus Laboratories (1973), "Interactions of S&T in the Innovative Process: Some Case Studies," Final Report, Prepared for the National Science Foundation, Contract NSF-C 667, March 19.

3. Barker, D. and D. J. H. Smith (1995), "Technology Foresight Using Roadmaps," Long Range Planning, Vol. 28, No. 2, pp. 21-28.

4. Berman, M., K. W. Boyack, and D. L. Wesenberg (1996), "Biomedical Technology Prosperity Game (TM)," Albuquerque, NM: Sandia National Labs., Report Number SAND961627, July, 231p.

5. Brown, Karen H. (1995), "SEMATECH and the National Technology Roadmap: Needs and Challenges." in Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering 1995, Bellingham, WA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, Vol. 2440, pp. 33-37.

6. Callon, M. (1986), "Pinpointing Industrial Invention: An Exploration of Quantitative Methods for the Analysis of Patents," in: Callon, M., J. Law, and A. Rip (eds.), Mapping the Dynamics of S&T, , London: Macmillan Press Ltd.

7. Carpenter, M. P., F. Narin, and P. Woolf (1981), "Citation Rates to Technologically Important Patents," World Patent Information, Vol. 3, No.4.

8. Carpenter, M. P. and F. Narin (1983), "Validation Study: Patent Citations as Indicators of Science and Foreign Dependence," World Patent Information, Vol. 5, No. 3.

9. Carpenter, M. P. (1982), "Assessment of the Linkages Between Patents and Fundamental Research," Presented at the OECD Patents and Innovation Statistics Seminar, Paris, France, June.

10. Department of Defense (1969), Project Hindsight, Washington, DC: Office of the Director of Defense Research and Engineering, DTIC No. AD495905, October.

11. EIRMA (1997), Technology Roadmapping: Delivering Business Vision, Paris: European Industrial Research Management Association, Working Group Report No. 52, 61p.

12. Engelsman, E. C. and A. F. J. van Raan (1991), "Mapping of Technology: A First Exploration of Knowledge Diffusion amongst Fields of Technology" Research Report to the Ministry of Economic Affairs, CWTS-91-02, Leiden: Centre for S&T Studies, March.

13. Galvin, Robert (1998), "Science Roadmaps," Science, Vol. 280, May 8, p. 803.