

## प्रास्ताविक

समर्थ रामदासांनी म्हटलं आहे

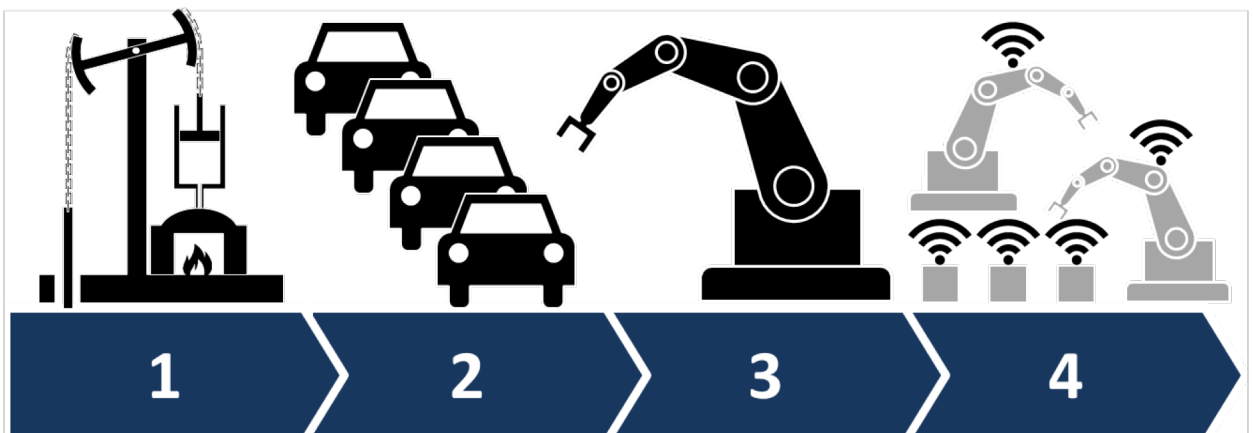
जे जे आपणांसी ठावे ते ते इतरांसी शिकवावे ।  
शहाणे करून सोडावे सकळ जन ॥

कामाच्या निमित्ताने अधूनमधून मला बरेचदा तंत्रज्ञानातील नव्या संशोधनाविषयी चार शब्द बोलण्याची संधी मिळते. त्याबद्दल विचार आणि तयारी करताना मला अनेकदा असं वाटतं की त्यातल्या काही महत्वाच्या विषयांचा सारांश आपल्या मातृभाषेत आणि सोप्या शब्दांत मराठी वाचकांपर्यंत पोहोचवावा. याच हेतूने हा पहिला प्रयत्न. यात इंग्रजी शब्दांना क्लिष्ट असतील तरी चालतील पण मराठीच पर्यायी शब्द पाहिजेत असा दुराग्रह असणार नाही, परंतु असे शब्द सोडल्यास भाषा मराठीच असेल, आणि भाषेची शैली ही वाचकांशी संवाद साधणारी अशी सोपी असेल. त्यामुळे व्यासपीठावरून व्याख्यान देण्याऐवजी मित्रांच्यात आणि नातेवाइकांच्यात बसून त्यांच्याशी गप्पा मारत असल्यासारखा एखादा विषय मांडावा असा माझा मानस आहे. हा पहिला प्रयत्न यशस्वी झाल्यास या लेखाचे लेखमालेत रूपांतर करायला मला नक्कीच आवडेल.

# तंत्राचा मंत्र: चौथी औद्योगिक क्रांती आणि उद्योगधंद्यांचे भवितव्य

दावोस स्विट्झर्लंड येथे नुकत्याच पार पडलेल्या वर्ल्ड इकॉनॉमिक फोरम या वार्षिक संमेलनात “चौथी औद्योगिक क्रांती” (“Industry 4.0”) हा विषय गेल्या काही वर्षांप्रमाणे याही वर्षी चर्चिला गेला. अमेरिकेचे राष्ट्राध्यक्ष डॉनल्ड ट्रम्प, भारताचे पंतप्रधान नरेंद्र मोदी, आणि जगभरातल्या अनेक देशांच्या नेत्यांनी हजेरी लावलेल्या या मंचावर सर्वसाधारणपणे विश्वव्यापी स्वरूपाचे प्रश्न हाताळले जातात. त्या अनुषंगाने ही क्रांती, त्यामागची कारणे, अपेक्षित असलेले आमूलाग्र बदल, उद्योगधंद्यांचे भवितव्य, आणि भविष्यातल्या रोजगाराच्या बदलत्या संधी जाणून घेण्याविषयीचा हा खटाटोप.

## चौथी औद्योगिक क्रांती (Industry 4.0) म्हणजे नक्की काय?



“चौथी औद्योगिक क्रांती” (“Fourth Industrial Revolution”, “Industry 4.0”) ही संज्ञा सर्वप्रथम जर्मनीमध्ये वापरली गेली. येत्या काही वर्षांत तंत्रज्ञानाच्या झपाट्याने होत असलेल्या विकासामुळे उद्योगधंदे, रोजगाराच्या उपलब्ध संधी, आणि राहणीमान यांत अपेक्षित असलेले आमूलाग्र बदल म्हणजेच ही चौथी औद्योगिक क्रांती. हे बदल जाणून घेण्यासाठी आणि सर्वसामान्यांच्या जीवनमानात अपेक्षित असलेली उलथापालथ समजून घेण्यापूर्वी सुरुवातीला आपण पहिल्या तीन औद्योगिक क्रांतींचा थोडक्यात आढावा घेऊ.





मानवी आणि पशु (उदा. अश्व, बैल) ऊर्जेचा वापर शेती, दळणवळण, इ. अनेक क्षेत्रांत अनेक शतके केला जात होता. जेम्स वॉटच्या वाफेवर चालणाऱ्या इंजिनच्या शोधापाठोपाठ या मानवनिर्मित आणि नियंत्रित ऊर्जेचा वापर उद्योगधंद्यांमध्ये केला जाऊ लागला. या वाफेच्या ऊर्जेमुळे उद्योगधंद्यांमध्ये वेग (speed) आणि व्याप्ती (scale) या बाबतींत आमूलाग्र बदल झाले. सर्वसाधारणपणे या कालावधीला पहिली औद्योगिक क्रांती असं संबोधलं जातं. या क्रांतीमुळे इंग्लंडसारख्या लहानग्या देशाला एका जागतिक महासत्तेचं स्वरूप प्राप्त झालं.

त्यानंतरचा आमूलाग्र बदल घडला तो हेन्री फोर्ड यांनी जेव्हा “असेम्ब्ली लाइन” ची संकल्पना अंमलात आणल्यामुळे. या नव्या पद्धतीमुळे उद्योगधंद्याची उपलब्धी झपाट्याने वाढली आणि मोठ्या प्रमाणावरील निर्मितीला (“मास प्रॉडक्शन”) सुरुवात झाली. त्याच सुमारास विजेचा आणि पेट्रोलियमचा शोध आणि वापर, तसेच पोलादाच्या मुबकल उपलब्धीमुळे उभे राहिलेले लोहमार्गाचे जाळे या गोष्टींमुळे उद्योगधंद्यांचा झपाट्याने विस्तार झाला. याला दुसरी औद्योगिक क्रांती म्हणून ओळखलं जातं. या क्रांतीमुळे अमेरिका पहिल्यांदा जागतिक महासत्ता बनली आणि अमेरिकेत “सोनेरी युग” (“Gilded Age”) अवतरलं. व्होड आयलंड राज्यात अटलांटिक महासागराच्या किनाऱ्यावर उभे असलेले महाल त्या काळची साक्ष देत आजही उभे आहेत, आणि आजही ही असेम्ब्ली लाइन पद्धत आपल्याला सर्वत्र पाहायला आणि अनुभवायला मिळते. उदा. अगदी “चिपोटले” मधला आपला बरिटो देखील याच पद्धतीने टप्प्याटप्प्याने बनवला जातो.

त्यानंतरची तिसरी औद्योगिक क्रांती घडली ती उद्योगधंद्यांमध्ये संगणक (उदा. सी एन सी मशीन्स) आणि यंत्रमानवांचा (industrial robotics and automation) वापर होऊ लागल्यामुळे. या क्रांतीने जपान आणि द. कोरिया या देशांना अनुक्रमे मोटार उद्योग आणि उपभोग्य इलेक्ट्रॉनिक्स (consumer electronics) च्या क्षेत्रांत जगाच्या नकाशावर आणलं. आज आपण चालवतो ती प्रत्येक मोटारगाडी किंवा वापरतो तो संगणक जवळपास संपूर्णपणे यंत्रमानवांमार्फत बनवले जातात, उदा. फोर्ड फोकस [1] आणि मॅक प्रो [2].

या तीनही क्रांती घडल्या तेव्हा जगाच्या नकाशावर उलथापालथ आणि स्थित्यंतरं घडून आली आणि त्या त्या काळच्या प्रचलित पद्धती नव्या बदलांपुढे नामशेष झाल्या. पहिल्या क्रांतीनंतर इंग्लंड आणि प. युरोपमध्ये तयार होणाऱ्या मालपुढे भारत आणि इतर आशियाई देशांमधल्या कुशल कामगारांच्या टिकाव लागला नाही. पैशाच्या आणि सुबतेच्या या एकतर्फी स्थित्यंतराचा विपर्यास अनेक देशांच्या पारतंत्र्यात झाला. “सोनेरी युगात” घडलेल्या कामगारांच्या पिळवणुकीनंतर कामगार युनियन, ४०-तासांचा आठवडा आणि इतर नियम अस्तित्वात आले. तिसऱ्या क्रांतीनंतर ज्या कामांची जागा संगणकांनी आणि यंत्रमानवांनी घेतली ती कामे हाताने करणाऱ्या माणसांच्या पोटावर पाय आला. तेव्हा हा इतिहास लक्षात घेता नजीकच्या भविष्यात येऊ घातलेल्या या चौथ्या औद्योगिक क्रांतीमुळे कोणकोणते बदल समोर वाढून ठेवले आहेत त्याचा आढावा घेणं महत्वाचं आहे.

## “सायबर-फिजिकल सिस्टिम्स” (Cyber-Physical Systems)

WORLD ECONOMIC FORUM COMMITTED TO IMPROVING THE STATE OF THE WORLD			
Navigating the next industrial revolution			
Revolution	Year	Information	
	1	1784	Steam, water, mechanical production equipment
	2	1870	Division of labour, electricity, mass production
	3	1969	Electronics, IT, automated production
	4	?	Cyber-physical systems

वर्ल्ड इकॉनॉमिक फोरम येथून साभार: <https://www.weforum.org/agenda/2015/11/5-ways-of-understanding-the-fourth-industrial-revolution>

असं म्हटलं जातं की येणारी चौथी औद्योगिक क्रांती ही “सायबर-फिजिकल सिस्टिम्स”मुळे घडणार आहे. “सायबर-फिजिकल सिस्टिम्स” म्हणजे नक्की काय? “सायबर” हा शब्द आपण सायबरनेटिक्स किंवा सायबर सिक्युरिटी या अर्थी ऐकला असेल. सायबर याचा इथे अभिप्रेत असलेला अर्थ म्हणजे संगणकांचे जाळे (Networked computers). “फिजिकल” म्हणजे आपल्या आजूबाजूच्या भौतिक जगातील गोष्टी. आणि दोन्ही मिळून म्हणजे “संगणन” (Computation) आणि “दूरसंचार” (Communication) यांच्या सर्वव्यापी वापरामुळे रूपांतरित झालेल्या आपल्या आजूबाजूच्या चीजवस्तू, अर्थात “सायबर-फिजिकल सिस्टिम्स”.

इंटेल कंपनीचे संस्थापक गॉर्डन मूर यांनी वर्तवलेल्या भाकिता (“मूर्स लॉ” / Moore's Law) नुसार गेली काही दशके संगणन अधिकाधिक शक्तिशाली आणि स्वस्त होत चालले आहे. आजच्या घडीला जगभरात जितकी भाताची शिंतं पिकतात त्यापेक्षा जास्त ट्रान्झिस्टर्स बनतात. आणि एखाद्या वर्तमानपत्रात एक अक्षर छापण्यासाठी जितका खर्च येतो त्यापेक्षा कमी पैशात एका ट्रान्झिस्टरचं उत्पादन होतं. २००६ साली सोळाशे डॉलर्सना उपलब्ध असलेल्या आयबीएम थिंकपॅड या तेव्हाच्या प्रगत संगणकापेक्षा कैक पटींनी शक्तिशाली संगणक आज मनगटावर बांधण्याइतक्या लहान आकारात आणि

तेही फक्त दोनशे डॉलर्सना उपलब्ध आहेत. इतकेच काय, “रास्पबेरी पाय” सारखे संगणक आजकाल पाच डॉलर्सना उपलब्ध आहेत [3]. संगणकाने आणि सॉफ्टवेअरने तर माणसाच्या शरीरात देखील शिरकाव केला आहे [4]. तर अशा या स्वस्त, आकारमानाने सोयीस्कर, आणि मुबलक प्रमाणात उपलब्ध असलेल्या इलेक्ट्रॉनिक्सचा आणि पर्यायाने त्यावर विकसित केल्या जाणाऱ्या सॉफ्टवेअरचा सर्वत्र शिरकाव होणार हे उघड आहे.

त्याचबरोबरीने गेल्या काही वर्षांत दूरसंचाराच्या क्षेत्रात कमालीची प्रगती घडली आहे. स्मार्टफोन तर सोडाच, परंतु मोटारगाड्या, दिवे, थर्मोस्टॅट, गराज डोअर्स, अगदी टोस्टर्स सारखी उपकरणे देखील इंटरनेटशी जोडली जात आहेत. याला “वस्तूंचे माहितीजाल” (Internet of Things) असं म्हटलं जातंय. या वेगवान आणि भरवशाच्या दूरसंचार सुविधेमुळे संगणन एककेंद्री (centralized) न राहता विस्तारित (distributed) प्रकारे केलं जाणं शक्य झालं आहे. यात अनेक प्रकारचे फायदे आहेत. पहिला म्हणजे मांडीवर, पाठीवर, हातात, खिशात, किंवा मनगटावर मावण्याइतके लहानसहान संगणकदेखील उपयुक्त ठरू लागले आहेत. मी शाळेत असतना डायल-अप इंटरनेट मार्फत एखादे छायाचित्र पाहायला कधीकधी अर्धाअर्धा तास लागत असे. आज आपण फोनवर नेटफ्लिक्स किंवा युट्यूब वर सिनेमे पाहू शकतो यामागे फोनच्या सुधारित इलेक्ट्रॉनिक्स प्रमाणेच पडद्यामागच्या सर्व्हर फार्म्स आणि त्यांच्याशी जोडणाऱ्या आजच्या प्रगत इंटरनेटच्या दुव्याचा तितकाच हात आहे.

## औद्योगिक क्षेत्रात सायबर फिजिकल सिस्टिम्स चे प्रारूप

या संगणन आणि दूरसंचार या दोहोंच्या वाढत्या मिलाफामुळे अनेक नवनवे बदल घडत आहेत. त्यातील पहिला महत्वाचा बदल म्हणजे कारखान्यातली सीएनसी मशीन्स आणि यंत्रमानव आज एकेकटे काम करीत असले तरी उद्या उपकरणे एकमेकांशी बोलू लागतील (“मशीन टु मशीन कम्युनिकेशन”). या संवादात सर्वात महत्वाचा असेल तो “डेटा”. कारण या डेटातूनच उपयुक्त “माहिती” (“इन्फॉर्मेशन”) आणि नवेनवे “शहाणपण” (“इन्साईट” किंवा “इंटेलिजन्स”) उदयाला येतं. काही व्यक्तींच्या मते तर डेटा हे उद्याचे पेट्रोलियम असेल (data is the new oil) [5, 6], आणि तेही अमर्याद आणि पुन्हापुन्हा वापरता येण्याजोगे [7].

गेल्या काही वर्षांत या डेटाचे उत्खनन (data mining), उपयुक्त माहितीचा शोध घेणे, आणि पर्यायाने “शहाणपण” विकसित करणे, अशी कामं संगणकांच्या हवाली करण्यात आपण काही अंशी यशस्वी झालो आहोत. याला “आर्टिफिशियल इंटेलिजन्स” किंवा “ए आय” असं म्हटलं जातं. त्याच्याशी निगडित दुसरा महत्वाचा बदल म्हणजे कितीही क्लिष्ट कामे चोख करीत असले तरी कारखान्यांतले आजचे संगणक आणि यंत्रमानव ‘सांगकामे’ आहेत. ते मानवाने लिहून दिलेल्या प्रणालीप्रमाणेच आपापली कामे करतात. उद्या एआय मुळे हेच संगणक आणि यंत्रमानव आपापली डोकी वापरू लागतील. उदाहरणादाखल संगणकांनी बनवलेली ही आरेखने पहा [8].

आजमितीला नमुने आणि आकृतिबंध ओळखण्याच्या (pattern recognition) कामी संगणक मानवापेक्षाही कांकणभर पुढे गेले आहेत. त्यामुळेच रोगाचे निदान करणे [9], वकिली [10], आर्थिक सल्लागार [11], इंश्युरन्स एजण्ट [12], अशा अनेक कामी माणसांच्या ऐवजी संगणकांचा वापर होऊ घातला आहे. त्याबरोबरच भौतिक जगाची जोड मिळाल्यावर स्वयंचलित वाहतूक [13], केर काढणे [14], गोदामांत सामानाची हलवाहलव [15], टपालाची नेआण [16], अगदी स्वयंपाकासारख्या गोष्टीदेखील [17] माणसाऐवजी सॉफ्टवेअरमार्फत घडवून आणल्या जातील.

तसं बघायला गेलं तर संगणकांमध्ये सर्वव्यापी आणि परिपूर्ण अशी कृत्रिम हुशारी विकसित करण्यापासून आपण काही दशके तरी दूर आहोत. उदाहरणादाखल अगदी लहानसहान मुलांमध्ये देखील असलेला “कॉमन सेन्स” संगणकात विकसित

करण (याला “कॉमनसेन्स ए आय” किंवा “आर्टिफिशियल जनरल इंटेलिजन्स” अशी नवे आहेत) अजून तरी शक्य झालेलं नाही. त्यामुळे काही प्रकारची कामी नक्कीच अशी असतील जिथे माणसांऐवजी संगणकाचा वापर तूर्तास तरी केला जाणार नाही. आणि संगणकांच्या बरोबरीने काम करण्यासाठी नव्या प्रकारच्या संधी भविष्यात उपलब्ध होतीलही. परंतु मधल्या काळात वर उल्लेखलेल्या अनेक क्षेत्रांत रोजगाराच्या संधी नष्ट झाल्यावर काय करावे आणि नव्याने बेरोजगार झालेल्यांना बदलत्या तंत्रज्ञानाबद्दल नवे शिक्षण कसे द्यावे हा प्रश्न समाज म्हणून आपल्याला सोडवावा लागणार आहे.

---

हा पहिला प्रयत्न तुम्हाला कसा वाटला? तुम्हाला आणखी कोणत्या विषयांवर वाचायला आवडेल? आपला अभिप्राय मला जरूर कळवा:

अक्षय राजहंस

[akshay.rajhans@gmail.com](mailto:akshay.rajhans@gmail.com)

<https://arajhans.github.io>

---

संदर्भ

- [1] How to make a Ford Fiesta -- in 86 seconds! <https://www.youtube.com/watch?v=ErSZmor1qok>
- [2] Apple - Making the all-new Mac Pro <https://www.youtube.com/watch?v=IbWOQWw1wkM>
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial\\_cardiac\\_pacemaker](https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_cardiac_pacemaker)
- [5] <https://www.economist.com/news/leaders/21721656-data-economy-demands-new-approach-antitrust-rules-worlds-most-valuable-resource>
- [6] <https://www.wired.com/insights/2014/07/data-new-oil-digital-economy/>
- [7] <https://www.weforum.org/agenda/2018/01/data-is-not-the-new-oil/>
- [8] <https://medium.com/intuitionmachine/the-alien-look-of-deep-learning-generative-design-5c5f871f7d10>
- [9] <https://mashable.com/2017/02/22/ibm-watson-clinical-imaging-cardiology/#WF9SJCxJmqj>
- [10] <https://www.cnbc.com/2017/02/17/lawyers-could-be-replaced-by-artificial-intelligence.html>
- [11] <https://www.cnbc.com/2017/09/08/fintech-start-up-pefin-uses-a-i-to-offer-financial-advice.html>
- [12] <http://www.bbc.com/news/world-asia-38521403>
- [13] <https://www.wired.com/story/embark-self-driving-truck-deliveries/>
- [14] <https://mashable.com/2017/11/22/best-robot-vacuums/#wqJQ9jR9qaqk>
- [15] <https://www.cnet.com/news/meet-amazons-busiest-employee-the-kiva-robot/>
- [16] <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?node=8037720011>
- [17] <http://www.iflscience.com/technology/robot-chef-home-could-arrive-2017/>