Materialen leren van vorm te veranderen

In een nieuwe publicatie in Nature Physics introduceren onderzoekers van de Universiteit van Amsterdam door de mens gemaakte materialen die tot leven komen. Deze ‘metamaterialen’ leren niet alleen van vorm te veranderen, maar kunnen hun vorm-veranderingsstrategie aanpassen, reflexmatige acties uitvoeren en bewegen zoals levende organismen.



Vormen leren. De nieuwe metamaterialen kunnen elke vorm aanleren – hier hebben ze geleerd om de letters van ‘learn’ en ‘leren’ te vormen. Afbeelding: Yao Du et al.

Normale materialen hebben een vaste respons op het uitoefenen van een kracht, en robots vertonen voorgeprogrammeerd gedrag. Levende materialen, zoals cellen en hersenloze organismen, kunnen zich daarentegen juist bijzonder goed aanpassen aan veranderende omstandigheden. Geïnspireerd door de natuur ontwierp het onderzoeksteam synthetische materialen – metamaterialen – die zonder een centraal ‘brein’ kunnen leren en aanpassen.

De wormachtige metamaterialen leren geleidelijk van vorm te veranderen doordat ze worden getraind met voorbeelden. Cruciaal is dat ze vormen kunnen vergeten en opnieuw leren, meerdere vormen tegelijk kunnen leren en onthouden, en tussen deze vormen kunnen schakelen. Dit stelt hen in staat geavanceerde taken uit te voeren, zoals grijpen en zich voortbewegen (locomotie).

“Het spannendste resultaat van ons onderzoek was dat leren onze metamaterialen de mogelijkheid geeft om te evolueren – zodra het systeem begint te leren, lijken de mogelijkheden voor waar het uiteindelijk terechtkomt bijna onbegrensd”, zegt Yao Du, promovendus in het Machine Materials Lab aan de UvA en eerste auteur van het artikel.

De metamaterialen zijn ketens van identieke gemotoriseerde scharnieren die met elkaar verbonden zijn door een elastisch skelet. Elk scharnier heeft een microcontroller die meet hoe ver het gebogen is, zijn eerdere bewegingen onthoudt en informatie uitwisselt met zijn buren. Als reactie op deze informatie kan elk scharnier een koppel (een rotatiekracht) uitoefenen, waardoor de stijfheid en de voorkeurspositie van elk scharnier veranderen, zodat het materiaal leert een nieuwe vorm aan te nemen.

Om het metamateriaal een nieuwe vorm aan te leren, buigen de onderzoekers eerst een of meer scharnieren in de keten weg van hun gewenste vorm en fixeren ze deze ‘input’-scharnierposities. Om het materiaal te trainen om op deze input te reageren door een nieuwe vorm aan te nemen, duwen de onderzoekers vervolgens herhaaldelijk de resterende scharnieren naar de gewenste nieuwe vorm, waarbij ze de geduwde scharnieren vastklemmen voordat ze weer worden losgelaten. In elke stap, die de onderzoekers een ‘epoch’ noemen, leren de microcontrollers in het metamateriaal nieuwe koppels op hun respectievelijke scharnieren uit te oefenen, waardoor de stijfheid van de scharnieren en de interacties langs de keten veranderen totdat de keten op natuurlijke wijze dezelfde vorm aanneemt als wanneer het vastgeklemd is. Hierna zal de keten, telkens wanneer deze de input detecteert, zijn vorm veranderen naar de vastgeklemde positie.

Een robotisch metamateriaal dat dankzij training leert om van vorm te veranderen. Het materiaal kan complexe vormen leren, de een na de ander of tegelijkertijd, en zelfs ‘levensechte’ bewegingen uitvoeren.

Credit: Yao Du.

Verdergaan met lerende materialen

Het huidige onderzoek bouwt voort op eerder onderzoek van het Machine Materials Lab naar ‘hersenloze’ voortbeweging, waarbij ‘vreemde’ objecten ontworpen door het team autonoom over onvoorspelbaar terrein rolden, kropen en wiebelden. Deze metamaterialen konden echter geen nieuw gedrag leren of onthouden.

Du voegt toe: “In toekomstig werk willen we tijdsafhankelijk gedrag aanleren in plaats van veranderingen naar een vaste vorm. We willen bijvoorbeeld metamaterialen in staat stellen verschillende manieren van voortbewegen te leren, zoals kruipen of rollen, afhankelijk van omgevingsprikkels. We zijn ook van plan zogeheten stochastische scenario’s te onderzoeken, waarbij leren plaatsvindt onder invloed van ruis en onzekerheid. In dergelijke gevallen zou het systeem zich probabilistisch in plaats van deterministisch aanpassen, wat de robuustheid en flexibiliteit in complexe omgevingen verbetert.”

De interesse in robots en materialen die kunnen leren en zich aanpassen is de afgelopen jaren enorm toegenomen. De Nationale Wetenschapsagenda (NWA) 2026 bevat een oproep voor onderzoek onder het thema ‘Materialen die leren, en leren hoe we die verantwoord kunnen gebruiken’. Het NWA-programma ‘Onderzoek op Routes door Consortia’ heeft als doel interdisciplinair en transdisciplinair innovatief onderzoek mogelijk te maken dat wetenschappelijke en maatschappelijke doorbraken binnen handbereik brengt.

In augustus wordt het Machine Materials Lab van de UvA versterkt met een nieuwe promovenda, gedeeld met de Learning Machines-groep van AMOLF. Voortbouwend op Du’s onderzoek zal haar project zich richten op het ontwikkelen van nieuwe materialen die leren.

Publicatie

Yao Du, Ryan van Mastrigt, Jonas Veenstra en Corentin Coulais. Metamaterials that learn to change shape. *Nature Physics* (2026)

Aanvullend videomateriaal

Het leerproces en complexe aangeleerde vormveranderingen. Het “contrastive learning”-proces, aan de hand van een voorbeeld van het leren vormen van de letter ‘U’. Het metamateriaal met 11 eenheden leert sequentieel complexe vormveranderingen en vormt het woord “LEARN”. Aan het einde van de video is een metamateriaal met 48 eenheden te zien dat leert om de vorm van een kat aan te nemen. Credit: Yao Du.

Het leren van niet-reciproke en meervoudige vormveranderingen. Het leerschema werkt ook voor niet-reciproke vormveranderingen. Bovendien leert het metamateriaal, door asymmetrische interacties en interacties met de op-een-na-naaste buren toe te voegen, meerdere vormveranderingen tegelijk. Credit: Yao Du.

Van multistabiele vormveranderingen naar functionaliteit. De experimentele ontdekking van multistabiliteit in de nieuwe metamaterialen, inclusief twee functionele voorbeelden van multistabiele vormveranderingen. In het eerste voorbeeld voert een bistabiel metamateriaal reflexmatige grijp- en loslaatacties uit. In het tweede voorbeeld wisselt een multistabiel metamateriaal tussen twee vormen en beweegt het zich vooruit. Credit: Yao Du.